



ALCALDÍA DE
CUENCA

ETAPA

**Diseños Definitivos de la Planta de Tratamiento
de Aguas Residuales de Guangarcucho, Cantón
Cuenca, Provincia del Azuay, Ecuador**

MEMORIA TÉCNICA DEL INFORME FINAL

**Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua
Potable, Alcantarillado y Saneamiento ETAPA-EP**

Julio 2023



GREELEY AND HANSEN



Tabla de Contenido

Sección 1	Introducción.....	1-1
1.1	Antecedentes	1-1
1.2	Objetivos de los estudios	1-2
1.2.1	Objetivo general	1-2
1.2.2	Objetivos específicos.....	1-2
1.3	Fases de los estudios	1-3
1.4	Productos de la consultoría	1-3
1.5	Forma de presentar el Informe Final	1-5
1.6	Actividades de la Fase I.....	1-6
1.7	Actividades de la Fase II.....	1-6
Sección 2	EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	2-1
2.1	Recopilación y revisión de estudios previos	2-1
2.1.1	Información de la administración del proyecto, ETAPA EP	2-3
2.1.2	Información de Fiscalización.....	2-33
2.1.3	Información de otras entidades	2-34
2.2	Caracterización del agua residual y su tratabilidad	2-35
2.2.1	Metodología.....	2-35
2.2.2	Información analizada	2-36
2.2.3	Resultados del análisis teórico.....	2-37
2.2.3.1	Nutrientes	2-37
2.2.3.2	Condiciones Ambientales	2-37
2.2.3.3	Constituyentes Inhibitorios	2-38
2.2.4	Características del afluente de la ciudad de Cuenca	2-38
2.2.5	Conclusiones.....	2-41
2.3	Confirmación de los requerimientos normativos.....	2-41
2.3.1	Afluente de la PTAR Guangarcucho	2-41
2.3.2	Efluente de la PTAR Guangarcucho	2-43
Sección 3	DESARROLLO DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS	3-1
3.1	Ejecución de levantamientos topográficos	3-1
3.1.1	Coordenadas e hitos de control	3-3
3.1.2	Levantamiento topográfico	3-4
3.2	Ejecución de estudios geológicos y geotécnicos	3-5
3.2.1	Exploración Directa e Indirecta	3-6

Memoria Técnica del Informe Final

3.2.2	Geología.....	3-7
3.2.3	Perforaciones, Ensayos de Campo y Laboratorio	3-9
3.2.4	Análisis Realizados	3-9
3.2.5	Conclusiones y Recomendaciones	3-10
3.3	Estudios de impacto ambiental.....	3-14
3.3.1	Introducción	3-14
3.3.2	Actividades realizadas	3-15
3.3.2.1	Elaboración de la ficha técnica, Identificación del alcance y objetivos del estudio de impacto ambiental, Definición del marco legal e institucional aplicable al proyecto	3-15
3.3.2.2	Determinación de la línea base ambiental.....	3-16
3.3.2.3	Descripción del proyecto.....	3-16
3.3.2.4	Descripción de las alternativas técnicas analizadas	3-17
3.3.2.5	Determinación del área de influencia	3-18
3.3.2.6	Inventario Forestal.....	3-20
3.3.2.7	Identificación, evaluación y valoración de impactos ambientales.....	3-20
3.3.2.8	Análisis de riesgos	3-21
3.3.2.9	Protocolos de prueba	3-22
3.3.2.10	Plan de manejo ambiental	3-22
3.3.2.11	Entrega del borrador del estudio ambiental al MAE	3-23
3.3.2.12	Proceso de participación ciudadana	3-23
3.3.2.13	Correcciones y preparación del Informe Final	3-23
3.3.2.14	Colaboración en la obtención de la Licencia Ambiental.....	3-24
3.4	Evaluación del laboratorio existente de Ucubamba.....	3-24
Sección 4 PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA RECOMENDADA		4-1
4.1	Confirmación de los caudales afluentes y las cargas contaminantes	4-1
4.1.1	Caudal medio	4-1
4.1.2	Caudal máximo.....	4-4
4.1.3	Caudales de diseño de las unidades del sistema.....	4-5
4.1.4	Cargas contaminantes	4-6
4.1.4.1	Características de la DBO ₅	4-6
4.1.4.2	Características de la DQO	4-6
4.1.4.3	Características de los SST	4-6
4.1.4.4	Características de los SSV	4-7
4.1.4.5	Características del Nitrógeno Total	4-7
4.1.4.6	Características del Fósforo Total.....	4-7

4.1.5	Concentraciones de diseño.....	4-7
4.1.6	Aporte industrial.....	4-8
4.2	Validación y confirmación de la alternativa seleccionada.....	4-8
4.2.1	Descripción de las alternativas.....	4-9
4.2.1.1	Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados.....	4-9
4.2.1.2	Alternativa 2: Lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación.....	4-19
4.2.1.3	Alternativa 3: Tratamiento con filtros percoladores.....	4-23
4.2.2	Modelación con CAPDET Works.....	4-26
4.2.2.1	Datos de entrada.....	4-26
4.2.2.2	Resultados de modelación.....	4-27
4.2.2.3	Dimensionamiento.....	4-28
4.2.2.4	Costos.....	4-31
4.2.3	Eficiencias de tratamiento con modelación, utilizando GPS-X.....	4-32
4.2.4	Matriz de comparación.....	4-33
4.2.5	Conclusiones y Recomendaciones.....	4-36
4.3	Determinación de las bases de diseño.....	4-37
4.3.1	Requerimientos de calidad del efluente.....	4-39
4.3.2	Configuración de la planta de tratamiento.....	4-40
4.3.3	Descripción de los componentes de la Línea de Tratamiento del Agua.....	4-42
4.3.4	Descripción de los componentes de la Línea de Tratamiento de Lodos.....	4-51
4.3.5	Instalaciones, sistemas y equipos auxiliares.....	4-56
4.3.6	Perfil hidráulico.....	4-58
Sección 5 DESARROLLO DEL DISEÑO DETALLADO.....		5-1
5.1	Diseños hidráulico-sanitarios.....	5-1
5.1.1	Criterios de diseño.....	5-1
5.1.2	Diseños hidráulicos realizados.....	5-1
5.2	Diseños arquitectónicos.....	5-2
5.3	Diseños estructurales.....	5-3
5.3.1	Criterios de diseño.....	5-3
5.3.2	Diseños estructurales realizados.....	5-4
5.4	Diseños eléctricos y electrónicos.....	5-5
5.4.1	Criterios de diseño eléctrico.....	5-5
5.4.2	Criterios de diseño electrónico de control, automatización, telecomunicaciones y monitoreo SCADA.....	5-10
5.4.3	Diseños eléctricos y electrónicos realizados.....	5-13

Sección 6 DOCUMENTOS DEL PROYECTO.....	6-1
6.1 Tecnología de la construcción y equipo mínimo.....	6-1
6.2 Cronograma de construcción.....	6-1
6.3 Operación y mantenimiento de la PTAR.....	6-1
6.4 Elaboración de los planos de construcción.....	6-2
6.5 Elaboración de especificaciones técnicas.....	6-2
6.6 Elaboración del estimativo del costo probable de la construcción	6-3
6.6.1 Estimación de las cantidades de obra.....	6-3
6.6.2 Análisis de precios unitarios	6-3
6.6.3 Elaboración del presupuesto	6-3
6.7 Elaboración de los documentos básicos de licitación	6-4
6.8 Estudio arqueológico.....	6-5
Sección 7 BIBLIOGRAFÍA.....	7-1

Lista de Tablas

Tabla 2-1: Parámetros de Diseño según Estudios de TYPASA.....	2-5
Tabla 2-2: Calidad del Agua Tratada, según Estudios de TYPASA	2-5
Tabla 2-3: Presupuesto de inversión sin considerar los equipos para producción de biogás, según Estudios de TYPASA.....	2-12
Tabla 2-4: Presupuesto de inversión considerando la estabilización anaerobia de lodos, según Estudios de TYPASA.....	2-12
Tabla 2-5: Costos de explotación sin considerar los equipos para producción de biogás, según Estudios de TYPASA.....	2-13
Tabla 2-6: Costos de explotación considerando la estabilización anaerobia de lodos, según Estudios de TYPASA	2-13
Tabla 2-7: Producción de Lodos y Grado de Estabilidad del Lodo de las Alternativas, según Estudios de TYPASA	2-14
Tabla 2-8: Parámetros de Diseño de la PTAR Guangarcucho, Estudios de Wittenveen + Bos	2-17
Tabla 2-9: Concentraciones del Agua Cruda para el Diseño de la PTAR Guangarcucho, según Estudios de Wittenveen + Bos	2-18
Tabla 2-10: Calidad del Agua Tratada, según Estudios de Wittenveen + Bos	2-18
Tabla 2-11: Costos de Construcción y Operación de la PTAR, según Estudios de Wittenveen + Bos.....	2-26
Tabla 2-12: Resumen de Valores Promedio de Parámetros del Afluyente a la PTAR Ucubamba.....	2-36
Tabla 2-13: Relación Histórica DBO ₅ :N:P para Crecimiento Microbiano	2-37
Tabla 2-14: Elementos Metálicos Típicos y sus Umbrales de Concentración	2-38
Tabla 2-15: Campaña Adicional de Muestreo en el Afluyente a la PTAR Ucubamba.....	2-39
Tabla 2-16: Datos de Entrada para “Influent Advisor” GPS-X	2-39
Tabla 2-17: Relaciones de Parámetros de Aguas Residuales.....	2-41
Tabla 2-18: Caracterización del Agua Cruda, según Proyectos Anteriores	2-42
Tabla 2-19: Caracterización del Agua Cruda; según el Consorcio	2-42

Tabla de Contenido

Tabla 2-20: Parámetros del Efluente de la PTAR Guangarcucho, según TdR	2-43
Tabla 2-21: Calidad del Efluente de la PTAR Guangarcucho, según ETAPA EP	2-43
Tabla 2-22: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce, según TULSMA	2-44
Tabla 2-23: Características del Efluente de la PTAR Ucubamba	2-44
Tabla 3-1: Coordenadas UTM WGS84 del Punto de Partida.....	3-3
Tabla 3-2: Coordenadas UTM WGS84 de los Hitos del Proyecto	3-3
Tabla 3-3: Ubicación y profundidad de perforaciones realizadas	3-7
Tabla 4-1: Población y Caudales a ser Tratados en las PTAR Ucubamba y Guangarcucho.....	4-2
Tabla 4-2: Población y Caudales a Tratar en la PTAR Guangarcucho	4-3
Tabla 4-3: Caudal Medio Total de Funcionamiento de la PTAR Guangarcucho.....	4-4
Tabla 4-4: Factor de Caudal Máximo	4-4
Tabla 4-5: Caudales de diseño de las Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales	4-5
Tabla 4-6: Proyección de Concentraciones de Contaminantes para Diseño	4-8
Tabla 4-7: Bases de Diseño del Sistema de Pretratamiento.....	4-11
Tabla 4-8: Bases de Diseño del Sistema de Tratamiento Primario	4-12
Tabla 4-9: Bases de Diseño del Sistema Secundario de Lodos Activados	4-13
Tabla 4-10: Bases de Diseño del Sistema de Desinfección UV.....	4-15
Tabla 4-11: Bases de Diseño de los Espesadores de Lodos Primarios	4-16
Tabla 4-12: Bases de Diseño de los Espesadores de Lodos de Desecho	4-17
Tabla 4-13: Bases de Diseño de los Digestores Anaerobios	4-18
Tabla 4-14: Bases de Diseño de los Deshidratadores de Biosólidos	4-19
Tabla 4-15: Bases de Diseño del Sistema de Aireación Extendida en Zanjas de Oxidación.....	4-21
Tabla 4-16: Bases de Diseño del Sistema de Tratamiento con Filtros Percoladores	4-25
Tabla 4-17: Parámetros de Diseño de Entrada al Modelo CapdetWorks	4-27
Tabla 4-18: Resultados de la Estimación de Áreas del Modelo CapdetWorks	4-28
Tabla 4-19: Resultados de la Estimación de Costos del Modelo CapdetWorks.....	4-32
Tabla 4-20: Resultados Modelación con GPS-X	4-33
Tabla 4-21: Matriz de Comparación de Alternativas.....	4-35
Tabla 4-22: Bases de Diseño del Proceso	4-38
Tabla 4-23: Bases de Diseño del Efluente	4-39
Tabla 4-24: Criterios para el Diseño Hidráulico	4-58
Tabla 6-1: Resumen del Presupuesto de Proyecto	6-4

Lista de Figuras

Figura 2.1: Diagrama de la Metodología del Estudio de Tratabilidad.....	2-36
Figura 2.2: Cuadro de Resultados del Modelo Influent Advisor – GPS-X.....	2-40
Figura 3-1: Áreas consideradas para el tratamiento.....	3-2
Figura 3-2: Áreas en las que se realizó el levantamiento topográfico.....	3-2
Figura 3-3: Ubicación de hitos del proyecto.....	3-4
Figura 3-4: Esquema de ubicación de geofísica y perforaciones realizadas	3-6
Figura 3-5: Área de influencia del proyecto	3-20
Figura 4-1: Caudales a Tratar en Ucubamba y Guangarcucho	4-2
Figura 4.2: Esquema de la Alternativa 1 de Tratamiento Mediante Lodos Activados	4-10
Figura 4-3: Esquema de la Alternativa 2 de Tratamiento Mediante Aireación Prolongada.....	4-20
Figura 4-4: Esquema de la Alternativa 3 de Tratamiento Mediante Filtros Percoladores	4-24

Tabla de Contenido

Figura 4-5: Implantación de la Alternativa 1 de Tratamiento Mediante Lodos Activados	4-29
Figura 4-6 Implantación de la Alternativa 2 Tratamiento Mediante Zanjias de Oxidación.....	4-30
Figura 4-7: Implantación de la Alternativa 3 de Tratamiento Mediante Filtros Percoladores	4-31
Figura 4-8: Implantación de la PTAR-G en el sitio del proyecto	4-41
Figura 4-9: Diagrama general de los procesos de la PTAR Guangarcucho.....	4-43
Figura 4-10: Diagrama del flujo de agua de la PTAR Guangarcucho	4-44
Figura 4-11: Esquema del flujo entre los procesos de tratamiento de agua de la PTAR-G	4-44
Figura 4-12: Diagrama del flujo de lodos de la PTAR Guangarcucho	4-53
Figura 4-13: Esquema del flujo entre los procesos de tratamiento de lodos de la PTAR-G	4-53

Lista de Anexos

- Anexo 1: Informe de Condiciones de Tratabilidad
- Anexo 2: Información de la PTAR Ucubamba
- Anexo 3: Topografía
- Anexo 4: Informe Geológico-Geotécnico:
Estudio Geológico-Geotécnico de Fase I
Estudio Geológico-Geotécnico de Fase II
- Anexo 5: Estudio Ambiental.
- Anexo 6: Estudio de Alternativas (incluye Planos Esquemáticos)
- Anexo 7: Bases de Diseño.
- Anexo 8: Evaluación del laboratorio de Ucubamba .
- Anexo 9: Memorias de cálculo de los Diseños Hidráulicos -Sanitarios.
- Anexo 10: Memorias de cálculo de los Diseños Estructurales .
- Anexo 11: Memoria de Cálculo de los Diseños Eléctrico, Electrónico de Potencia y Telecomunicaciones .
- Anexo 12: Programa de Ejecución de Obras (Tecnología de construcción, personal, equipo, cronograma).
- Anexo 13: Manual de Operación y Mantenimiento .
- Anexo 14: Especificaciones Técnicas (Generales, de Equipos, Eléctricas, Catálogos).
- Anexo 15: Presupuestos (Resumen general, detalle del presupuesto, cantidades de obra, cotizaciones, precios unitarios) .
- Anexo 16: Documentos de Licitación.
- Anexo 17: Estudio Arqueológico.

Sección 1 Introducción

1.1 Antecedentes

El sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca es de tipo combinado, existiendo un sistema de interceptores, localizados en las dos márgenes de las quebradas y de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Tarqui, Machángara y Cuenca, que permiten conducir el agua residual hacia el actual tratamiento Ucubamba compuesto por lagunas de estabilización, que se encuentran en operación continua desde el mes de noviembre de 1999.

La planificación a largo plazo en los sistemas de recolección, conducción, depuración y disposición final de agua residual ha caracterizado a la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP). Dentro de esta planificación, como parte de los estudios de factibilidad de los Planes Maestros II Fase de Agua Potable y Alcantarillado de Cuenca, se determinó la necesidad de contar con una nueva planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el año 2015, en razón de que la capacidad hidráulica de la actual PTAR Ucubamba llegaría a su límite alrededor de ese año.

En la planta de Ucubamba se han implementado mejoras, no obstante, se estima que, luego del año 2020 no podrá recibir todo el caudal que se genera en la ciudad, lo cual unido al desarrollo de nuevos sectores de carácter residencial aguas abajo del sistema de depuración actual, la necesidad de recuperar los ecosistemas de agua de las zonas afectadas y ampliar el área de servicio con el tratamiento de aguas residuales a nuevos sectores de la ciudad, han determinado la necesidad de construir a un corto plazo un nuevo sistema de depuración aguas abajo del existente. Con esta previsión, ETAPA EP, ya en la segunda etapa de los planes maestros, adquirió, en el sector de Guangarcucho, los terrenos para la nueva planta de depuración.

La capacidad de tratamiento de la PTAR Ucubamba es del orden de 1.800 L/s, el caudal máximo horario de tratamiento en época de sequía es de 2.270 L/s y el caudal máximo horario de tratamiento en época de lluvias es 2.500 L/s.

Se ha previsto que la nueva planta recibirá el exceso de caudal que no podrá ser procesado por la actual PTAR Ucubamba, los caudales de las zonas de Nulti y Challuabamba y de las descargas industriales aguas abajo de Ucubamba.

ETAPA EP, sensible ante la necesidad, de disponer del estudio que permita la posterior construcción de la nueva planta de tratamiento, convocó, de conformidad con: los artículos 22 de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública –LOSNCP-, y 25 y 26 de su Reglamento General -RGLOSNCP- y el Plan Anual de Contrataciones de la CONTRATANTE, al concurso público de consultoría para la elaboración de los “DISEÑOS DEFINITIVOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES GUANGARCUCHO, CANTÓN CUENCA, PROVINCIA DEL AZUAY, ECUADOR”. La convocatoria se llevó a cabo el 4 de noviembre de 2015, a través del Portal Institucional del SERCOP.

Luego del proceso correspondiente, el día 11 de marzo de 2016, ETAPA EP firma con el Consorcio Greeley and Hansen-ACSAM, el contrato para la realización de la consultoría de los Diseños de la PTAR Guangarcucho. Los pagos del contrato provienen de los fondos propios del presupuesto de la entidad contratante relacionados con la partida presupuestaria número 730605001.

El proyecto de consultoría se inicia oficialmente el día 3 de mayo de 2016, fecha en la que, ETAPA EP, notifica al Consorcio que el anticipo se encuentra disponible.

En el transcurso de la consultoría se presentaron actividades adicionales que requerían ser ejecutadas en el proyecto, concretamente ampliar el estudio de suelos con un número y longitud mayor de perforaciones, la elaboración de un video virtual del proyecto que serviría para promocionar el proyecto tanto a nivel interior como exterior de ETAPA EP y el desarrollo de un estudio arqueológico del sitio previsto para la ubicación de la PTAR Guangarcucho. Estas nuevas actividades provocaron que el Consorcio solicite la realización de un contrato complementario que, luego de ser revisado por la Fiscalización fue aprobado por ETAPA EP. En el contrato complementario se definen nuevas fechas para la entrega de los productos de la consultoría, habiéndose establecido que la entrega del 60% de la Fase II quedaría para el 31 de enero de 2017 y que la entrega del 100% de la Fase II para el 17 de marzo de 2017. Posteriormente, con los resultados de las perforaciones de suelos realizadas como parte del contrato complementario surgió la necesidad de un análisis más profundo, técnico y económico, de varias alternativas de la cimentación de los digestores y del tanque de almacenamiento de lodos digeridos, por lo que se concedió un plazo adicional para la entrega del Informe de Fase II hasta el 15 de mayo de 2017.

El presente documento corresponde al Informe Final de los diseños definitivos de las obras de la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho, y es la suma de los dos informes anteriores: de Fase I y de Fase II.

1.2 Objetivos de los estudios

Por lo expuesto en el numeral anterior y de conformidad con lo expresado por ETAPA EP, en el documento de Pliegos, los objetivos de los estudios son:

1.2.1 Objetivo general

Disponer a corto plazo de todos los estudios y diseños con planos a nivel de detalle constructivo, con todos sus componentes y estudios preliminares, que permitan la contratación de su construcción, implementación, operación y puesta en marcha de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho (PTAR-G), lo que determina contar con un tipo y grado de depuración que posibilite la descarga del efluente final a un cuerpo superficial, el río Cuenca, con la calidad exigida por las Leyes Nacionales vigentes en el Ecuador (“Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria”) y los estándares establecidos por ETAPA EP.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos con los que se ha desarrollado el estudio, son los siguientes:

- Revisar y validar los estudios y la información proporcionada por ETAPA EP. Se deberá revisar y validar las bases, criterios y parámetros de diseño, características del influente y efluente para la nueva PTAR Guangarcucho, determinar la alternativa óptima de tratamiento que será aprobada por ETAPA EP y preparar el informe correspondiente para proceder con los Diseños Definitivos.
- Entregar los Diseños Definitivos aceptados y aprobados por ETAPA EP de todas las obras y sus componentes de la PTAR, incluyendo los diseños arquitectónicos, obras civiles, control de olores en el pretratamiento, obras mecánicas, electromecánicas, eléctricas y electrónicas, monitoreo y control, tratamiento de fangos y desinfección del efluente, con el suficiente grado

de detalle que permita su construcción y con los respaldos que demuestren su viabilidad técnica, ambiental, económica-financiera y operativa.

- Elaborar los Estudios de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental del Proyecto, desarrollados en cumplimiento con los procedimientos establecidos en el TULAS y la obtención de los Permisos Ambientales ante las autoridades correspondientes.
- A estos primeros objetivos, con las actividades del contrato complementario, se han agregado los siguientes objetivos específicos: Profundizar el estudio geotécnico, elaborar un videovirtual del proyecto y realizar el estudio arqueológico del sitio en el que se ubicarán las obras de la PTAR Guangarcucho.

1.3 Fases de los estudios

Tal como estuvo previsto en los Pliegos, la consultoría ha sido desarrollada en dos fases:

Fase I: correspondiente a la “Revisión, análisis y evaluación de la información y determinación de la alternativa final para los diseños definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho”, y ejecución durante los tres primeros meses. La Fase I, fue aprobada por ETAPA EP y Fiscalización como paso previo al inicio de la Fase II.

Fase II: correspondiente a los “Diseños Definitivos de las Obras de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho”, y la presentación del diseño completo del sistema de depuración recomendado por el Consorcio y que sea aprobado por ETAPA EP. El diseño completo del sistema de tratamiento, comprende a todos los estudios, cálculos y diseños a nivel de ingeniería de detalle, que permita su construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento, control y vigilancia.

1.4 Productos de la consultoría

En los Términos de Referencia, se han definido los resultados que se esperan de la consultoría, mismos que han sido presentados en tres informes: de Fase I, de Fase II e Informe Final. Adicionalmente, durante el desarrollo de la Fase I y Fase II se mostraron informes borradores de las principales actividades que se han realizado en el proyecto, lo que ha permitido, a ETAPA EP y la Fiscalización, mantenerse informadas de manera permanente y hacer un seguimiento continuo de las actividades que el Consorcio ha ejecutado.

En el Informe de Fase I se describieron a todas las actividades previstas en este período, es decir, a lo realizado para la “Revisión, análisis y evaluación de la información y determinación de la alternativa final para los diseños definitivos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho”.

El resultado más importante de la Fase I fue la definición de la alternativa, con sus respectivos componentes, considerada como la mejor para el tratamiento de las aguas residuales que llegarán a Guangarcucho, Lodos Activados. El informe de Fase I estuvo formado por una memoria principal, y por los siguientes anexos:

- Anexo 1: Informe de Condiciones de Tratabilidad.
- Anexo 2: Información de la PTAR Ucubamba.
- Anexo 3: Topografía.
- Anexo 4: Geología-Geotecnia.
- Anexo 5: Estudio Ambiental.

- Anexo 6: Estudio de Alternativas.
- Anexo 7: Bases de Diseño.
- Anexo 8: Planos Esquemáticos (de las alternativas estudiadas).

En el Informe de Fase II, se realiza la descripción de todas las actividades desarrolladas para los “Diseños Definitivos de las Obras de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho”. El informe se compone de:

- Memoria técnica con la descripción de todas las actividades realizadas durante la Fase II, las hipótesis y los criterios adoptados, el origen de los parámetros y supuestos, así como los métodos de los cálculos empleados y los resultados obtenidos.
- Presupuesto de obra detallado de todos los componentes diseñados, así como una estimación de los costos de: puesta en marcha, instrucción al personal técnico, entrenamiento al personal de operación, de vigilancia y control y una estimación de los costos de operación y mantenimiento de la PTAR, considerando todos los costos involucrados en ello, como: personal, energía eléctrica, productos químicos y disposición final de lodos.
- Especificaciones técnicas para todos los rubros del presupuesto.
- Manuales de operación y mantenimiento (de rutina, preventivo y emergente) para la PTAR.
- Metodología para la construcción y tecnología que se debe emplear en la construcción de las obras diseñadas. Cronograma valorado y cronograma de avance físico definiendo las etapas de construcción.
- Documentos Anexos con las memorias de cálculo detalladas de cada especialidad y la información de sustento necesaria.
- Juego de planos que contenga a: planos de información y de estudios básicos; planos de detalle y de construcción (arquitectónicos, de obra civil, estructurales, eléctricos, mecánicos).
- Documentos requeridos para la licitación de las obras utilizando los modelos establecidos en la LOSNCP, su reglamento y las resoluciones del SERCOP.
- Del contrato complementario: informe arqueológico y CD del video virtual del proyecto. Las perforaciones de suelos adicionales se han sumado al informe geológico-geotécnico.
- Archivos magnéticos de computadora (CDs), con su respectivo índice, que contenga toda la información técnica procesada dentro de la Fase II del proyecto.

El Informe Final contiene el compendio de los dos informes parciales (Fase I y Fase II), con todos los planos, volúmenes y anexos; es decir, con los datos básicos, los estudios ejecutados y los resultados de los diseños definitivos, de tal manera que se puedan revisar los diseños sobre la base de esa única documentación. Este Informe contiene, los elementos principales y sus obras especiales, así como el presupuesto y todo el pliego licitatorio. En otro documento se ha preparado el Resumen Ejecutivo de la Consultoría. De esta manera, el Informe Final está compuesto por los siguientes documentos:

- Informe: Descripción de todas las actividades realizadas en el proyecto.
- Anexo 1: Informe de Condiciones de Tratabilidad.
- Anexo 2: Información de la PTAR Ucubamba.
- Anexo 3: Topografía.
- Anexo 4: Informe Geológico-Geotécnico.
- Anexo 5: Estudio Ambiental.
- Anexo 6: Estudio de Alternativas.

Anexo 7:	Bases de Diseño.
Anexo 8:	Evaluación del laboratorio de Ucubamba.
Anexo 9:	Memorias de cálculo de los Diseños Hidráulicos-Sanitarios.
Anexo 10:	Memorias de cálculo de los Diseños Estructurales.
Anexo 11:	Memoria de Cálculo de los Diseños Eléctrico, Electrónico de Potencia y Telecomunicaciones.
Anexo 12:	Programa de Ejecución de Obras.
Anexo 13:	Manual de Operación y Mantenimiento.
Anexo 14:	Especificaciones Técnicas (Generales, de Equipos, Eléctricas, Catálogos).
Anexo 15:	Presupuestos (Resumen general, detalle del presupuesto, cantidades de obra, cotizaciones, precios unitarios).
Anexo 16:	Documentos de Licitación.
Anexo 17:	Estudio Arqueológico.

En documento aparte se ha preparado el Resumen Ejecutivo de la Consultoría.

A estos documentos, se suman los planos del proyecto con el siguiente detalle:

- Planos Generales.
- Planos Paisajísticos y Arquitectónicos.
- Planos hidráulicos de los procesos de la PTAR.
- Planos Hidráulicos Internos de los Edificios: red de agua potable y de incendios, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.
- Planos Hidráulicos Internos de la PTAR Guangarcucho: sistema de agua de servicios e incendios, sistema de agua potable, sistema de alcantarillado sanitario, sistema de alcantarillado pluvial.
- Planos Estructurales.
- Planos Eléctricos, Electrónicos y de Instrumentación y Control.

1.5 Forma de presentar el Informe Final

El Informe Final contempla a las actividades que fueron previstas, tanto en el contrato principal como en el complementario, para la realización de los Diseños Definitivos de las Obras de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Guangarcucho. De esta manera, este informe, incluye a todas las actividades programadas en la Fase I y en la Fase II, y además las correspondientes a las del contrato complementario.

La estructura del informe tiene un orden algo diferente al de la Oferta Técnica presentada por el Consorcio, debido a que se ha pretendido darle una secuencia lógica a las actividades conforme su ejecución, describiendo lo realizado en cada una de ellas, destacando la información utilizada, el procesamiento y los resultados más importantes y, para que no se vuelva muy voluminoso o complejo, se ha enviado hacia anexos el detalle de varios estudios de las actividades como: el Estudio de las Condiciones de Tratabilidad, la Información del agua de ingreso y del efluente de la PTAR de Ucubamba, la Topografía, la Geología - Geotecnia, el Estudio Ambiental, el Estudio de Alternativas, las Bases de Diseño, la Evaluación del laboratorio de Ucubamba, las Memorias de Cálculo de los Diseños: Hidráulicos-Sanitarios, Estructurales y Eléctricos, la Programación de Obras, el Manual de Operación y Mantenimiento, las Especificaciones Técnicas, los Presupuestos, los Documentos de

Licitación y el Estudio arqueológico, con lo que, en la memoria principal se conocerá sobre todas las actividades, mientras que, en los anexos se profundizan los estudios indicados.

1.6 Actividades de la Fase I

Las actividades que fueron desarrolladas durante la Fase I son:

- Evaluación y validación de la información existente:
 - Recopilación y revisión de estudios previos.
 - Caracterización del agua residual y su tratabilidad.
 - Confirmación de los requerimientos normativos.
- Desarrollo de estudios complementarios (Primera Parte):
 - Ejecución de levantamientos topográficos.
 - Ejecución de estudios geológicos y geotécnicos.
- Inicio de estudios de impacto ambiental.
- Planteamiento de la alternativa recomendada:
 - Confirmación de los caudales afluentes y las cargas contaminantes.
 - Validación y confirmación de la alternativa recomendada.
 - Determinación de las bases de diseño.
 - Preparación de planos esquemáticos.

1.7 Actividades de la Fase II

Las actividades desarrolladas durante la Fase II son las siguientes:

- Desarrollo de estudios complementarios (Segunda Parte):
 - Ejecución de estudios geológicos y geotécnicos.
 - Estudios de impacto ambiental.
 - Evaluación del laboratorio existente de Ucubamba.
- Desarrollo del diseño detallado:
 - Diseños hidráulico-sanitarios.
 - Diseño arquitectónico.
 - Diseño estructural.
 - Diseño eléctrico-mecánico.
- Documentos del contrato:
 - Tecnología de la construcción y equipo mínimo.
 - Cronograma de construcción.
 - Operación y mantenimiento de la PTAR.
 - Elaboración de los planos de la construcción.
 - Elaboración de los documentos básicos de licitación.
 - Elaboración del informe arqueológico.

En las secciones siguientes se describen a todas las actividades de la Fase I y Fase II del proyecto.

Sección 2 EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

2.1 Recopilación y revisión de estudios previos

Como es de esperarse en un proyecto que pretende ampliar el área de servicio con tratamiento de aguas residuales a nuevos sectores de la ciudad, una de las primeras actividades desarrolladas consistió en la recopilación de la información existente relacionada con el servicio, con el área y con la población a ser beneficiada con el mismo, complementada con recorridos de campo, con la finalidad de precisar la utilidad y confiabilidad de la información obtenida, así como la necesidad de complementarla, o actualizarla.

Para obtener la información existente se procedió a solicitar los documentos de proyectos que tienen relación con el presente estudio, primeramente en ETAPA EP como cliente directo, y luego, en instituciones como: la I. Municipalidad de Cuenca y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

Enseguida se presenta un listado con la principal información solicitada o proporcionada para el estudio, señalando la institución que ha provisto y el contenido de la misma o denominación del documento.

ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO, ETAPA EP:

- a) Conceptualización del sistema de saneamiento de la zona de influencia del proyecto: Sistemas de Recolección y Depuración, efectuado por la consultora TYP SA Ingenieros Consultores y Arquitectos, entre los años 2003 y 2004.
- b) Conceptualización de la planta de tratamiento de aguas residuales Challuabamba (Guangarcucho) efectuado por la consultora TYP SA Ingenieros Consultores y Arquitectos, entre los años 2003 y 2004.
- c) Informe ambiental de los planes maestros de agua potable y saneamiento II fase, efectuado por ETAPA EP, entre los años 2005 y 2006.
- d) Preliminary design WWTP Guangarcucho and main collector system, efectuado por la consultora Witteveen + Bos/ DENIS NV, efectuado entre los años 2011 y 2012.
- e) Institutional aspects, efectuado por la consultora Witteveen + Bos/DENIS NV, efectuado entre los años 2011 y 2012.
- f) Estudios poblacionales ajustados al censo nacional de poblacional y vivienda efectuado por el Gobierno Nacional en el año 2010.
- g) Registros históricos de caudales y características de las aguas residuales en estructuras de ingreso de la PTAR Ucubamba.
- h) Caracterización de las aguas residuales de la PTAR Ucubamba, efectuado en el año 2012.

- i) Caracterización adicional solicitada por el Consorcio.
- j) Recopilación de legislación ambiental vigente y relativa al tema.
- k) Estudios hidrológicos del cuerpo receptor y recopilación de estudios existentes para los ríos Burgay y Paute.
- l) Estudio hidrológico, hidráulico y geológico-geofísico para el diseño y construcción del puente sobre el río Cuenca.
- m) Levantamiento topográfico de terrenos en donde se implantará la PTAR.
- n) Análisis de la vulnerabilidad a eventos de crecida y diseño de obras físicas para la protección de la margen derecha del río cuenca, en el sector de Guangarcucho.
- o) Información de los interceptores que llegan a la PTAR Guangarcucho.

FISCALIZACIÓN:

Información para la realización del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto.

OTRAS ENTIDADES:

Para el desarrollo del proyecto, de manera especial, como información para el estudio ambiental, se ha solicitado información a las siguientes entidades:

- a) Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP.
- b) Dirección General de Planificación del GAD Municipal del cantón Cuenca.
- c) Empresa Municipal de Movilidad de Cuenca (EMOV).
- d) Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, IERSE.
- e) Dirección de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Cuenca.
- f) Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues, EMAPAL EP.

La información entregada al Consorcio ha sido catalogada por el Director del Proyecto para que, de acuerdo a su contenido, sea entregada a cada uno de los especialistas del estudio para el desarrollo de sus actividades.

Es así que, más adelante, al tratar los diferentes trabajos realizados, se mencionará la utilidad de la información mencionada y otra información específica de cada especialidad; no obstante, a continuación se hace una breve descripción de los documentos que han sido entregados y su validez en el presente proyecto.

2.1.1 Información de la administración del proyecto, ETAPA EP

a) Conceptualización del sistema de saneamiento de la zona de influencia del proyecto: sistemas de recolección y depuración

El estudio fue efectuado por la consultora TYPASA Ingenieros Consultores y Arquitectos, entre los años 2003 y 2004, como un complemento a los Estudios de Factibilidad de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento, II Etapa, desarrollados entre 1999 y el año 2000.

La Ordenanza de julio de 1988 que sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, mediante la cual se fijan los nuevos límites tanto para el área urbana como para las zonas de influencia inmediata, y que, en el año 2002 se aprueba la Reforma y Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza del Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca, Determinaciones para el Uso y Ocupación del suelo urbano. Los estudios de TYPASA consideran estos nuevos límites de ordenamiento territorial, dentro de los cuales se ubican parte de las cabeceras y zonas periféricas de las parroquias de Baños, San Joaquín, Sinincay, Sayausí, Sidcay, Octavio Cordero, Checa, Chiquintad, Llacao, Nulti, Paccha, El Valle, Turi y Tarqui, quedando establecida el área de influencia del proyecto en 24.689 ha, con un horizonte de diseño al año 2030.

En el estudio de TYPASA se indica que el Informe de Factibilidad de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la ciudad de Cuenca –II Etapa, Tomo II: Informe de Alcantarillado – Estudios de Factibilidad-, no contiene propiamente dicho una conceptualización del sistema de recolección y depuración de las aguas residuales, ni se justifican plenamente las PTARs propuestas en Ochoa León ni en Misicata (San Joaquín) frente a un requerimiento de usos y calidad de agua en los ríos, o a la posibilidad de conducir la totalidad de las aguas residuales hacia una única planta de tratamiento, o a los costos de inversión, operación y mantenimiento.

El estudio de TYPASA Ingenieros Consultores y Arquitectos, contiene una propuesta en términos generales para la gestión de las aguas residuales y de escorrentía de la zona de influencia del proyecto, a ser implementada en distintas fases durante el período de diseño. Se hace una breve caracterización del área del proyecto, con ajustes a los estudios de población, descripción del sistema de alcantarillado existente, la geomorfología de la zona, y termina con los estudios hidrológicos básicos y con el estudio hidrológico de los caudales en el río Cuenca a la altura de la PTAR de Ucubamba. Posteriormente, se presenta el estudio de conceptualización, definiendo el sistema de recolección, se propone el sistema combinado para el área urbana y para algunas zonas especiales y para el resto de la zona del proyecto, el sistema separado: el sistema sanitario para la recolección de las aguas residuales y el escurrimiento superficial de las aguas de lluvia y en casos extremos, al final de su recorrido hacia los cuerpos receptores, su canalización. Se prevé también la implementación de sistemas individuales de disposición de excretas, para una parte importante del proyecto ubicada en el sector rural. En lo que se refiere a las redes de recolección, no incluye una descripción pormenorizada de la gestión de las aguas lluvias y residuales.

Luego, trata sobre el uso y calidad del agua de los principales ríos de la ciudad, analizando la normativa existente, los datos de monitoreo realizados desde 1986, y la nueva propuesta de usos y metas de calidad de agua realizada por ETAPA EP, con recomendaciones para establecer nuevos usos y consecuentemente unas metas de calidad del agua considerando que éstas deben ser alcanzables técnica y económicamente con el fin de alcanzar un estado biológico lo mejor posible en los ríos. Se realiza una simulación de la calidad del agua del río Cuenca para diferentes rangos de variación de algunos parámetros como son: caudales del río Cuenca, caudales de los efluentes de las PTARs, calidad del agua del río y la calidad de los efluentes de las PTARs.

La última sección del estudio se refiere a la conceptualización del sistema de depuración, considerando como datos de partida, entre otros, a: el estudio poblacional, el estudio de consumos y su proyección para definir las dotaciones, los supuestos asumidos en cuanto a longitud de redes, cobertura de los servicios, caudales de infiltración, los caudales medios y mínimos de llegada a la PTAR de Ucubamba, así como las cargas contaminantes, las estimaciones de control de pérdidas y los caudales de aguas incontroladas.

Como resultado se propone una nueva PTAR en Challuabamba, de 900 L/s, cuya construcción se proyecta en tres fases modulares de 300 L/s. El año horizonte del estudio es el 2030, recomendándose que el efluente de la nueva planta tenga como límite para la DBO₅ de 25 mg/L y para los coliformes fecales de 4,0E4 NMP/100 mL.

b) Conceptualización de la planta de tratamiento de aguas residuales Challuabamba (Guangarcucho)

El estudio fue efectuado por la consultora TYPASA Ingenieros Consultores y Arquitectos, entre los años 2003 y 2004 como un complemento a los Estudios de Factibilidad de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento, II Etapa, desarrollados entre 1999 y el año 2000 con ajustes en los que se han eliminado las propuestas de construir plantas depuradoras en San Joaquín y Ochoa León, y aumentando de capacidad la futura planta de tratamiento de aguas residuales de Challuabamba (Guangarcucho). Este estudio es el que tiene mayor relación con el proyecto que se realiza.

En el planteamiento se considera que la PTAR de Challuabamba (ahora denominada Guangarcucho) tratará los caudales excedentes que lleguen a la actual PTAR Ucubamba, además de caudales de sectores bajos de la ciudad de Cuenca.

Para el estudio, TYPASA ha planteado un estudio comparativo de tres alternativas que son en las que se ha incluido, el predimensionamiento, definición del proceso de tratamiento, presupuestos de construcción y operación, y área de ocupación. Las tres alternativas estudiadas son:

- Alternativa 1 consta de un proceso de lodos activados a media carga, con digestión anaerobia de lodos, en doble etapa, con calentamiento.
- Alternativa 2 proceso de lodos activados con aireación prolongada en canales de oxidación, sin decantación primaria, con digestión anaerobia de lodos, en doble etapa, con calentamiento.
- Alternativa 3 con lechos bacterianos (filtros percoladores), con digestión anaerobia de lodos en una etapa, sin calentamiento.

En el dimensionamiento de las tres alternativas estudiadas de planta de tratamiento se realizó en base a los siguientes parámetros:

Tabla 2-1: Parámetros de Diseño según Estudios de TYP SA

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal diario de diseño	m ³ /día	68.400
Habitantes equivalentes	hab	150.000
Carga orgánica (DBO ₅)	g/hab-día	60
Caudal nominal	m ³ /h	2.700
Caudal punta	m ³ /h	3.510
Concentración media de DBO ₅	mg/L	137
Carga sólidos en suspensión	kg SST /día	12.652

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

En la línea de proceso de agua de todas las alternativas se ha considerado que el pozo de gruesos reciba hasta 2,5 veces el Qmedio, antes de aliviar el exceso fuera de la planta. Al pretratamiento, el Qpunta de entrada será 1,3 veces el Qmedio, conforme a los datos obtenidos de la explotación de la PTAR de Ucubamba, que reflejan la distribución del caudal en los distintos momentos del día.

En el estudio de conceptualización del sistema de alcantarillado sanitario, se propone la planificación de la construcción de una nueva planta de tratamiento de aguas residuales en dos fases:

- Primera fase: Construcción de una planta de 34.200 m³/día (396 L/s) de capacidad con fecha de inicio de la operación de la planta en el año 2020. En esta primera fase se construirá el pretratamiento para la capacidad nominal máxima de los dos módulos.
- Segunda fase: Ampliación de la planta para alcanzar una capacidad de 68.400 m³/día (792 L/s) con fecha del inicio de la operación en el año 2030. Se ampliará el tratamiento biológico y la línea de tratamiento de fangos.

Requerimientos para el agua tratada

En ese estudio de TYP SA se planteó que los valores de calidad que debe alcanzar el agua tratada son:

Tabla 2-2: Calidad del Agua Tratada, según Estudios de TYP SA

Parámetro	Unidad	Valor
DBO ₅	mg/L	25
SST	mg/L	35
CF	NMP / 100 mL	40.000
pH		6,5 - 9

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

Ubicación de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales

Los terrenos propuestos en los estudios de factibilidad para la ubicación de la futura PTAR son los idóneos desde un punto de vista de disponibilidad de espacio como por las ventajas en cuanto a los

costes económicos asociados al sistema de conducción de aguas residuales respecto de otras alternativas que requieren mayores longitudes de conducciones y sistemas adicionales de impulsión mediante estaciones de bombeo.

ALTERNATIVAS PLANTEADAS EN EL ESTUDIO DE TYP SA

ALTERNATIVA 1: PROCESO DE TRATAMIENTO BASADO EN FANGOS ACTIVADOS

Se desarrolla un prediseño de una planta tratamiento con un proceso biológico basado en el sistema de fangos activados de mezcla completa y media carga, con tratamiento de fangos mediante digestión anaerobia acelerada, en doble etapa, y aprovechamiento del biogás generado para el calentamiento de los fangos en digestión y para la producción de energía eléctrica.

El proceso consta de las siguientes unidades de tratamiento:

Pretratamiento

Obra de llegada con aliviadero general y pozo de gruesos provisto de extracción de arenas y sólidos sedimentados mediante cuchara bivalva anfibia, con mecanismo de elevación por polea mecanizada.

Se prevé la medición del caudal en la línea de by-pass general.

Desbaste en dos canales provistos cada uno de tamices autolimpiables de tipo de cremallera, con una luz de paso de 12 mm, que vierten los sólidos retenidos a una cinta transportadora que a su vez alimenta una prensa de residuos, la cual reduce el volumen de los sólidos eliminados previamente a su vertido a un contenedor.

Desarenado y desengrasado en dos canales, provistos de difusores de inyección de aire para desemulsionado de grasas y aceites, y de puentes de traslación equipados con bombas verticales de extracción de mezcla de arenas y agua, y sistema de arrastre de flotantes. Las arenas impulsadas por las bombas verticales se conducen a un aparato clasificador de arenas de tipo de rastrillo donde se separan del agua de arrastre, vertiéndose a un contenedor de recogida. Los flotantes recogidos mediante un sistema de rasquetas superficiales solidario a los puentes de traslación, se conducen a un separador de grasas donde se separan del agua recogida, derramándose a un contenedor de recogida.

El agua extraída de la prensa de residuos, del clasificador de arenas y del separador de grasas, se retornarán a cabecera de planta, mediante sistema de bombeo.

La medida de caudal de ingreso a la PTAR se realizará en canal Parshall equipada con un medidor ultrasónico de nivel.

Decantación primaria

Consiste en 4 unidades de 24 m de diámetro, con un rendimiento del 30% en DBO₅ y del 60% en remoción de SS.

Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de fangos activados está constituido básicamente de una etapa de aireación y mezcla, en la que se pone en contacto a los microorganismos con la materia orgánica a ser consumida por los mismos; una fase subsiguiente de separación del fango biológico y el agua clarificada,

mediante decantación; y la recirculación de los fangos biológicos a los tanques de aireación, para mantener la concentración de microorganismos establecida en el diseño.

Para el diseño se han utilizado los coeficientes cinéticos de referencia para este tipo de procesos, recomendados en la literatura, y los determinados en las pruebas piloto realizadas para la PTAR de Ucubamba.

Luego de analizar las alternativas de aireación se ha optado por sistema de aireación mediante difusores de membrana. Del diseño se observa que es necesario construir cuatro tanques rectangulares, de 2.688 m³ de capacidad cada uno (10.752 m³ de volumen total).

Las dimensiones del reactor serán: 45 m x 10,5 m x 6 m.
La carga másica resultante es de 0,193 kg DBO₅/kg SSLM*d
La carga volúmica del reactor es de 0,597 kg DBO₅/m³ * d

El caudal de recirculación de fangos, será impulsado por doce bombas sumergibles (2+1 en reserva por cada reactor), de capacidad suficiente para alcanzar un índice de recirculación del 100%, se mezcla con el efluente del tratamiento primario en la obra de reparto de caudal a los tanques de aireación.

La separación del fango biológico y el agua clarificada se realiza en cuatro decantadores circulares de 35 metros de diámetro, con puente giratorio provisto de sistema de succión de fangos.

Línea de fangos

La línea de fangos consta de las siguientes unidades:

- Espesamiento por gravedad para fangos primarios.
- Espesamiento por flotación para fangos secundarios.
- Homogenización de fango espesador.
- Estabilización anaerobia del fango espesado.
- Deshidratación de fango.

Los fangos primarios procedentes de los decantadores primarios y los fangos biológicos en exceso se espesan en unidades diferentes.

Los fangos primarios purgados regularmente de los decantadores mediante un sistema de válvulas automáticas de funcionamiento temporizado, se recogen en una estación de bombeo de donde se impulsan a dos espesadores de gravedad de 7 m de diámetro interior.

Mientras que los fangos biológicos, en este caso purgados regularmente desde los decantadores secundarios, al igual que en el caso anterior mediante un sistema de válvulas automáticas de funcionamiento temporizado, se recogen en el pozo de recirculación de fangos biológicos, y son impulsados por bombas sumergibles, a dos espesadores por flotación de 3 m de diámetro, donde la introducción de un caudal de recirculación de agua sobrenadante procedente del propio flotador, y previamente acondicionada en un depósito de presurización, produce las micro burbujas que favorecen la separación por flotación de los sólidos de los fangos biológicos.

Los fangos espesados en ambas unidades de espesamiento se homogenizan en un depósito provisto de agitador sumergible desde donde aspiran las bombas de fangos espesados, de tipo “mono” o de cavidad progresiva, que impulsan el fango al digestor anaerobio.

Por el alto consumo energético de este tipo de plantas, y en sinergia con el preceptivo tratamiento de estabilización de los lodos, se plantea la inclusión de un tratamiento anaerobio de los mismos, con producción de biogás, que se utilizará para generar energía eléctrica, que al reutilizarse en la propia instalación contribuirá al alivio de la factura energética.

La digestión anaerobia se realiza en dos digestores primarios y dos digestores secundarios. Los primeros son dos depósitos cilíndricos de fondo tronco-cónica de volumen útil es de 1.676 m³/cada uno que permiten un tiempo medio de digestión de 31 días con las cargas correspondientes. En éstos se lleva a cabo la digestión más intensa. La instalación consta de un sistema de calentamiento de fango y de un sistema interno de agitación. La cubierta de los digestores primarios es fija.

La agitación del fango en el interior del digestor se realiza por recirculación del biogás, aspirado desde la cúpula del digestor secundario e impulsado mediante compresores rotativos de paletas a la parte inferior mediante un haz de tuberías que transcurren por la parte central del interior del digestor.

La instalación de calentamiento de fangos está diseñada para mantener una temperatura media de 35 °C en los fangos en digestión. Para ello se calienta un caudal de fango en digestión recirculado mediante tres bombas centrífugas horizontales que hacen pasar el fango a través de un intercambiador donde se aporta el calor por medio de un circuito cerrado de agua caliente procedente de una caldera, la cual está provista de un quemador que puede utilizar alternativamente el biogás producido en la digestión o gasoil para el arranque del proceso o en situaciones de pérdida de características del biogás por deterioro del proceso.

Los digestores secundarios, se diferencian de los primeros porque en ellos se produce la decantación del lodo digerido y la eliminación del líquido sobrenadante, con lo cual se consigue disminuir el volumen de fango que se envía a los procesos de deshidratación. La reducción de sólidos y formación de gas es casi nula en esta unidad, sirviendo únicamente para el almacenamiento de fango digerido y gas metano. Consisten en 2 unidades de 427 m³/u, con un tiempo de retención de 8 días.

La cubierta de los digestores secundarios es móvil con el fin de almacenar gas a presión atmosférica. Durante el proceso es necesario ir extrayendo los flotantes y el sobrenadante que serán conducidos mediante bombeo al separador de grasas y cabecera respectivamente.

El caudal de fangos extraído del digestor secundario, es conducido por gravedad a un depósito provisto de agitador sumergible de donde aspiran las bombas mono de alimentación a las unidades de deshidratación.

El fango digerido se acondiciona mediante la dosificación de polielectrolito, que se aplica en forma de una solución de concentración controlada. La solución de polielectrolito se prepara en continuo en unidad compacta y se dosifica mediante bombas mono provistas de variadores de velocidad.

Para la deshidratación de fangos se han previsto tres unidades de filtros banda, una de reserva, provistas cada una de un floculador donde el fango espesado con la adición de dosis adecuadas de polielectrolito adquiere las condiciones para un correcto funcionamiento del proceso de deshidratación. Durante las operaciones de secado los fangos deshidratados en los filtros banda se vierten en continuo sobre una cinta transportadora de alimentación a la bomba de fangos deshidratados que impulsa éstos a un silo de almacenamiento de 55 m³ de capacidad, desde donde se cargan periódicamente los camiones que transportan el fango deshidratado a su lugar de disposición final.

El agua de escurridos procedente del proceso de deshidratación se conduce por gravedad a la red de vaciados y drenajes donde se mezcla con el agua sobrenadante de espesadores, del clasificador de arenas y del separador de grasas, así como de los eventuales vaciados y reboses de las distintas unidades, y se impulsa a la cabecera de la planta desde la estación de bombeo de drenajes.

Línea de gas

El gas producido en el proceso de digestión, se conduce a través de una red de tuberías de acero inoxidable a una unidad de almacenamiento consistente en un gasómetro de campana flotante que asegura una presión en la red de gas de 240 mm de columna de agua, suficiente para la alimentación a la caldera de gas y al colector de admisión a las unidades de generación de electricidad.

Cinco moto-generadores de 150 KVA, que utilizan como combustible el propio gas generado en la digestión, permiten reducir el consumo neto de energía eléctrica de la planta.

Completa la instalación de la red de gas una antorcha o quemador de gas sobrante, de encendido automático en función de la posición de la campana flotante del gasómetro.

Desinfección

Para cumplir los objetivos de calidad en cuanto a coliformes fecales, es necesario aplicar desinfección al agua, se ha optado por un sistema de cloración con gas.

ALTERNATIVA 2: PROCESO DE TRATAMIENTO BASADO EN FANGOS ACTIVADOS DE AIREACIÓN PROLONGADA EN CANALES DE OXIDACIÓN

En la alternativa 2 se desarrolla un prediseño de una planta tratamiento con un proceso biológico basado en el sistema de fangos activados a baja carga, o de aireación prolongada en canales de oxidación, sin tratamiento primario, con tratamiento de fangos mediante digestión anaerobia acelerada, y aprovechamiento del biogás generado para el calentamiento de los fangos en digestión y para la producción de energía eléctrica.

El proceso consta de las siguientes unidades de tratamiento:

Pretratamiento

Similar a alternativa 1.

Tratamiento primario

Una de las ventajas del tratamiento de aireación prolongada es que no necesita realizarse el tratamiento primario. De esto modo todos los lodos pasan al tanque biológico, donde se digerirán parcialmente de forma aeróbica.

Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de fangos activados de aireación prolongada en canales de oxidación, al igual que en el caso anterior está constituido básicamente de una etapa de aireación y mezcla, en la que se pone en contacto a los microorganismos con la materia orgánica a ser consumida por los mismos, con la diferencia que se aumenta el tiempo de retención celular y el tiempo de retención hidráulico; la fase subsiguiente será igualmente la separación del fango biológico y el agua clarificada, mediante

decantación; y la recirculación de los fangos biológicos a los tanques de aireación, para mantener la concentración de microorganismos establecida en el diseño.

Para el diseño se han utilizado los coeficientes cinéticos de referencia para este tipo de procesos, recomendados en la literatura, y los determinados en las pruebas piloto realizadas para la PTAR de Ucubamba.

Al aumentar el tiempo de retención celular, los microorganismos entran en fase de respiración endógena, produciéndose la estabilización de la materia orgánica y el fango al mismo tiempo, con lo cual se reduce la producción de fango.

Los reactores tienen la forma de canales rotarios, en los cuales se produce un flujo pistón y mezcla completa simultáneamente. El volumen de cada reactor se ha determinado en 5.307 m³ (por 4 unidades), y el tiempo de retención celular en 30 días, mayor al caso de fangos activos convencional en el cual tiempo de retención celular se fijó en 10 días.

Las dimensiones de la etapa biológica serán 11,4 m x 82 m x 6 m.

La carga másica resultante es de 0,140 kg DBO₅/kg SSLM*d

La carga volúmica del reactor es de 0,4 kg DBO₅/m³ * d

El caudal de recirculación de fangos, será impulsado por doce bombas sumergibles (2+1 en reserva por cada reactor), de capacidad suficiente para alcanzar un índice de recirculación del 150%, se mezcla con el efluente del pretratamiento en la obra de reparto de caudal a los canales de oxidación.

La separación del fango biológico y el agua clarificada se realiza en cuatro decantadores circulares de 40 metros de diámetro, con puente giratorio provisto de sistema de succión de fangos.

Línea de fangos

La línea de fangos consta de las mismas unidades, que la alternativa 1, con la excepción de que se utiliza el espesador por gravedad para tratar los fangos secundarios en lugar del espesador por flotación, al obtenerse similares rendimientos:

La línea de fangos consta por lo tanto de:

- Espesamiento por gravedad para fangos secundarios.
- Homogenización de fango espesador.
- Estabilización anaerobia del fango espesado.
- Deshidratación de fango.

El funcionamiento de estas unidades: espesamiento, homogenización, estabilización y deshidratación, es el mismo descrito en la alternativa 1, pero en este caso al ser menor la producción de fango, los volúmenes de estas unidades son menores a los de la alternativa 1.

Línea de gas

En este caso al producirse menor cantidad de fango, se genera también menor cantidad de gas, pero en cantidad suficiente para co-generar energía.

Desinfección

Igual que alternativa 1.

ALTERNATIVA 3. PROCESO DE TRATAMIENTO BASADO EN FILTROS PERCOLADORES

En la alternativa 3 se desarrolla un prediseño de una planta tratamiento con un proceso basado en filtros percoladores, con tratamiento de fangos mediante digestión anaerobia en etapa simple, sin calentamiento de fangos.

La línea de agua consta de los siguientes procesos y unidades de tratamiento:

Pretratamiento

El prediseño de las unidades de pretratamiento es el mismo que el considerado en las alternativas 2 y 3.

Tratamiento primario

Igual que en alternativa 1.

Tratamiento biológico

El sistema de tratamiento biológico se concibe en ocho filtros percoladores de media carga de funcionamiento en paralelo o de una etapa.

Se trata de unidades circulares con distribuidores rotativos diseñados para funcionar a media carga, el diámetro de los mismos se ha calculado en 36 m. El material de relleno son cantos rodados de tamaño 25/75 mm con un espesor del lecho de 2 m que permite una adecuada circulación del aire.

Para el diseño se han utilizado los coeficientes cinéticos de referencia para este tipo de procesos, recomendados en la literatura.

Para asegurar una carga hidráulica adecuada, que facilite el arrastre de la biopelícula formada se diseña un sistema de recirculación de parte del licor efluente de los decantadores secundarios que se impulsa a la obra de reparto de caudal de entrada a los percoladores.

Por la experiencia de generación de olores y proliferación de insectos que se producen en plantas con esta tecnología de proceso, se ha incluido la cubierta con material autoportante de todos los filtros percoladores, al objeto de minimizar el impacto ambiental derivado de la instalación.

Decantación secundaria

La etapa de clarificación se realiza en cuatro unidades de idénticas características a los decantadores secundarios contemplados en la Alternativa 1, pero de 35 m de diámetro.

Línea de fangos

Es similar a la propuesta para la alternativa 1. Los volúmenes son ligeramente mayores a la alternativa 1 al producirse una cantidad mayor de fango que la alternativa 1. La estabilización del fango en este caso se hace mediante digestión anaerobia sin aceleración por calentamiento del lodo,

en una etapa. El resultado son dos digestores (que trabajan en paralelo) de 3.508 m³ cada uno. El tiempo de residencia del fango es de 62 días, a una temperatura de 25 °C.

Línea de gas

La producción de gas (2.631 m³/d) es ligeramente menor que la alternativa 1 (3.016 m³/d), y mucho mayor que la alternativa 2 (1.230 m³/d).

Desinfección:

Igual que alternativas 1 y 2.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Presupuestos de inversión

Si no se lleva a cabo la construcción e instalación de equipos para producción de biogás:

Tabla 2-3: Presupuesto de inversión sin considerar los equipos para producción de biogás, según Estudios de TYP SA

	Lodos Activados	Canales Oxidación	Lecho Percolador
Equipos	5.013.686	4.911.048	7.323.255
Obra civil	3.395.791	3.611.185	3.655.562
Electricidad	550.000	550.000	215.190
Varios	2.584.235	2.421.185	3.082.157
Terrenos	2.000.000	3.000.000	3.500.000
TOTAL (USD)	13.543.711	14.493.417	17.776.163

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

La inversión más elevada resulta la Alternativa 3 (lecho percolador), un 31% mayor que la Alternativa 1 (lodos activados) y un 23% más que la Alternativa 2 (canales de oxidación).

En caso de incluir la instalación de estabilización anaerobia de los lodos, los costos de inversión son:

Tabla 2-4: Presupuesto de inversión considerando la estabilización anaerobia de lodos, según Estudios de TYP SA

	Lodos Activados	Canales Oxidación	Lecho Percolador
Equipos	6.930.583	6.002.769	9.439.671
Obra civil	3.940.589	4.058.569	4.230.667
Electricidad	550.000	550.000	215.190
Varios	2.584.235	2.422.267	3.077.106
Terrenos	2.000.000	3.000.000	3.500.000
TOTAL (USD)	16.005.407	16.033.605	20.462.634

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

El costo de la alternativa 3 es mayor un 28% respecto de las otras dos, que tienen en un nivel de inversión similar.

Costos de explotación

Si no se instalan equipos para producción de biogás:

Tabla 2-5: Costos de explotación sin considerar los equipos para producción de biogás, según Estudios de TYP SA

	Lodos Activados	Canales Oxidación	Lecho Percolador
Consumo energético	8.891 Kw-h/día	29.273 Kw-h/día	9.097 Kw-h/día
Operación anual	1.814.998 \$	2.234.581 \$	1.990.493 \$
Costo por metro cúbico Plena utilización y amortización	0,153 \$/m ³	0,177 \$/m ³	0,185 \$/m ³

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

El consumo energético es tres veces más elevado en la alternativa 2 (canales de oxidación) que en las otras dos.

La operación más económica se da en el caso de la alternativa 1 (lodos activados).

En caso de incluir la instalación de estabilización anaerobia de los lodos, los costes de inversión son como se indica:

Tabla 2-6: Costos de explotación considerando la estabilización anaerobia de lodos, según Estudios de TYP SA

	Lodos Activados	Canales Oxidación	Lecho Percolador
Consumo energético	1.087 Kw-h/día	26.153 Kw-h/día	0 Kw-h/día
Operación anual	1.623.569 \$	2.175.093 \$	1.761.277 \$
Coste específico por m ³ por Operación y amortización	0,159 \$/m ³	0,183 \$/m ³	0,190 \$/m ³

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

La producción de biogás en la alternativa 3 hace que la instalación sea autosuficiente. Por otro lado, y a los costos de amortización considerados, la mayor inversión en la instalación de biogás no compensa el ahorro en operación anual, de modo que el costo por metro cúbico es prácticamente el mismo que sin digestores y generación eléctrica.

Sin embargo el hecho de la supresión de la digestión anaerobia de los lodos hace necesario algún tratamiento alternativo de los mismos, previo a su deposición en vertedero.

Complejidad de manejo

El nivel de mecanización y en consecuencia de complejidad de manejo de las instalaciones es muy similar en el caso de lodos activados y de canales de oxidación prolongada.

Los lechos percoladores tienen menos equipos mecánicos móviles por lo su operación es menos sofisticada, sin embargo estos pueden tener más problemas hidráulicos por cortocircuito, colmatación de poros, etc.

Consumo energético

Los lodos activados y los lechos percoladores tienen un consumo de energía eléctrica similar y mucho menor que de los canales de oxidación, en condiciones de no generación de biogás, pero si se incorpora a la instalación la producción de energía eléctrica a partir de la utilización del gas del lodo, la alternativa de lechos percoladores se muestra autosuficiente. En el caso de los lodos activos esto supone un ahorro de 7.800 Kw-h diarios (aproximadamente el 90% del consumo).

Producción de lodo

Cada alternativa tiene una producción y un grado de estabilidad del lodo diferente, en el cuadro se muestran los resultados de los cálculos:

Tabla 2-7: Producción de Lodos y Grado de Estabilidad del Lodo de las Alternativas, según Estudios de TYP SA

	Lodos Activados	Canales Oxidación	Lecho Percolador
Producción de lodos	8.495 t/año	3.465 t/año	8.892 t/año
Grado de estabilización	bajo	alto	medio

Fuente: Estudio de TYP SA, 2003-2004

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

Impacto ambiental

La ocupación del área del terreno es diferente para cada alternativa y conlleva un impacto visual diferente, mayor en el caso de la alternativa 3 (lechos percoladores) y menor en el caso de la 1 (lodos activados). Los problemas de manejo de las instalaciones conllevan un mayor riesgo de emisión de olores de la alternativa 3; sin embargo esto se ha corregido mediante la cobertura de los lechos, de modo que parte del mayor costo de inversión en los mismos se debe a la implantación de medidas correctoras del impacto ambiental.

El tratamiento de lodos tiene una repercusión directa también en el impacto inmediato de olores, y en el que se produce sobre el suelo y agua en el punto de disposición final.

Implementación de mejoras (eliminación de nutrientes)

Los distintos sistemas responden de manera diferente a la hora de incorporar mejoras en la calidad del efluente tratado. Así mientras en las alternativas 1 y 2 es muy factible acometer la eliminación de nutrientes (P y N), en el caso de la alternativa 3 es más complicado. El tratamiento de olores mediante mecanismos avanzados (ozonización, carbón activado, etc.) es más fácil de implementarse en instalaciones de menor superficie ocupada. Sería aconsejable (también desde el punto de vista del impacto ambiental), proceder a la cobertura de los decantadores primarios y secundarios, así como de los espesadores, y recoger y tratar convenientemente los olores. Esta posibilidad es claramente más ventajosa en la alternativa 1 y 2 pues su grado de exposición al ambiente es menor, aunque no hay que perder de vista que en la alternativa 3 ya se ha incluido la valoración de la cobertura de la etapa biológica.

Conclusiones del Estudio de TYPASA

- Los terrenos señalados en los Estudios de Factibilidad de Alcantarillado para la ubicación de la futura PTAR de Challuabamba son los más adecuados, dada su situación que asegura un mínimo de impacto a núcleos de población próximos, cotas del terreno que permite la conducción por gravedad de las aguas residuales y una situación que permite una longitud razonable de las conducciones necesarias para la traída de las aguas residuales hasta la planta.
- La alternativa 3 precisaría una inversión mayor a la de las otras alternativas debido tanto al coste de la obra como de la gran ocupación de terreno que implica. Los costes de operación correspondientes a la alternativa 3 son también los más elevados.
- A la alternativa 1 (fangos activados), le corresponden los consumos netos de energía eléctrica más bajos, la menor ocupación de terreno así como los costes de operación más bajos.
- Considerando conjuntamente los costes de operación y la amortización de la inversión, la alternativa 1, es la que previsiblemente permitiría obtener las metas de calidad del efluente con costes inferiores.
- Considerando que se tiene que cumplir con los objetivos de calidad propuestos por ETAPA EP para CF de 40000 NMP/100 mL, se ha propuesto un sistema de desinfección con cloro gas para las tres alternativas.

c) Informe ambiental de los planes maestros de agua potable y saneamiento II fase

El Estudio de Impacto Ambiental EIA forma parte de los Diseños Definitivos de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento II Fase y fue efectuado por ETAPA EP entre los años 2005 y 2006.

El estudio está dividido en ocho capítulos con un contenido que se sintetiza a continuación.

En el Capítulo 1 se presenta una descripción general del proyecto de los Planes Maestros, con un área de proyecto de aproximadamente 24.000 ha, el año horizonte del proyecto el 2030, estimándose, para este año, una población de 710.000 habitantes. En este capítulo se indican las obras previstas para los sistemas de agua potable y alcantarillado, dentro de las cuales se incluye a la depuración de aguas residuales con mejoras en la PTAR de Ucubamba y la implementación de una nueva planta en el sector de Challuabamba por medio de un sistema de fangos activados que debería funcionar a partir del año 2015. Posteriormente se presenta el cronograma de ejecución de las obras en sus diferentes fases y los componentes del proyecto que serán financiadas por el BID en una primera etapa del proyecto.

El Capítulo 2, se refiere al área de influencia directa (AID) y al área de influencia indirecta (AII). En este capítulo se identifica que hacia la PTAR Ucubamba serán conducidas las descargas de 16.589 ha, mientras que hacia la PTAR Challuabamba (o Guangarcucho) se llevará las aguas residuales de 3.352 ha.

En el Capítulo 3, se describe a detalle las características del medio físico, biótico y socioeconómico dentro del área de influencia del proyecto, de manera de establecer la Línea Base del área que será intervenida con el proyecto de los Planes Maestros. Entre la información de este capítulo se menciona que las precipitaciones mensuales máximas ocurren entre los meses de diciembre a mayo (con una máxima mensual de 162,1 mm), coincidiendo con la llamada temporada invernal, en tanto que, los meses más secos caen dentro del llamado período de estiaje (junio a septiembre), siendo la precipitación mensual mínima la de agosto (5,4 mm).

En el Capítulo 4 se trata de la Base Legal relacionada con el proyecto de los Planes Maestros.

En el Capítulo 5, se realiza el Análisis de las Alternativas planteadas para los componentes principales del proyecto y específicamente aquellos que serán ejecutados en una primera fase del proyecto. Con respecto a la gestión de los lodos deshidratados de la PTAR Ucubamba, se incorpora el análisis de las alternativas realizado por TYPESA para la disposición final de los lodos.

En el Capítulo 6, se identifican y evalúan los impactos ambientales de la alternativa final de los componentes y de los estudios derivados de la construcción y operación de los sistemas mediante matrices de Leopold modificadas.

En los Capítulos 7 y 8, se presenta el Plan de Manejo Socio – Ambiental con el detalle de todas las medidas de mitigación de los impactos identificados en el proyecto para el medio físico, biótico y social, durante la etapa de construcción y operación de la infraestructura y adicionalmente incluye programas paralelos relacionados que le permitirán a ETAPA EP realizar una adecuada gestión ambiental del proyecto.

Además de lo aquí indicado, el estudio ambiental realizado por ETAPA EP ha sido entregado al especialista ambiental del Consorcio para que pueda ser aprovechado en lo que corresponda en el estudio ambiental de la PTAR Guangarcucho.

d) Preliminary design WWTP Guangarcucho and main collector system

En octubre de 2011, la empresa Belga Denis N.V., ha contratado a la consultora Holandesa Witteveen + Bos, la realización de los diseños preliminares para la PTAR de Guangarcucho y del colector principal. Estos componentes del sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca, no están dentro de las obras previstas en el Plan Maestro II a ser financiadas por el BID y por autoridades nacionales y locales, por lo que requieren de un estudio y financiamiento adicional.

El proyecto considera que, en pocos años, la PTAR Ucubamba no tendrá la suficiente capacidad para tratar todo el caudal de aguas municipales de la ciudad de Cuenca y que además se requiere atender a nuevas zonas de crecimiento y al aporte que vendrá desde la ciudad de Azogues. Se planea como horizonte de diseño al año 2030 y una población total de 280.000 habitantes.

El informe ha sido dividido en siete capítulos, el primero la introducción, en el capítulo 2 las condiciones de diseño como los caudales, las concentraciones y cargas para la PTAR Guangarcucho, la selección del sistema de tratamiento es se describe en el mismo capítulo. En los capítulos 3, 4, 5 y 6, el diseño civil, mecánico y eléctrico de la PTAR. El diseño del colector principal se describe en el capítulo 7.

En un inicio hace un planteamiento de las alternativas a ser consideradas previo al desarrollo de los prediseños, estas alternativas son:

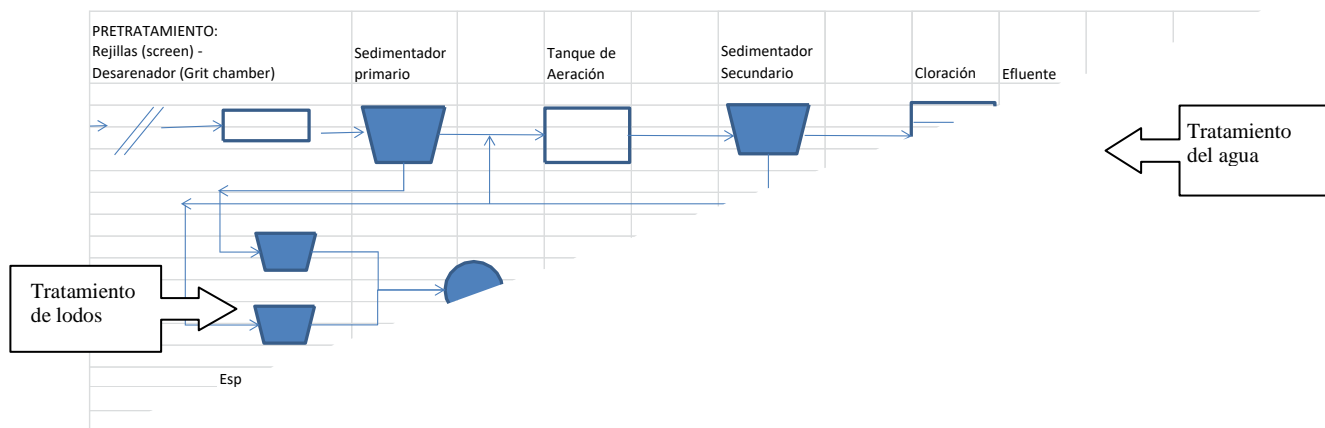
- Sistema de Lodos Activados.
- Birreactor de Membrana (MBR).
- Filtro Percolador (Trickling Filter).
- Reactores Biológicos Secuenciales (SBR).

De estas alternativas, se hace un análisis somero del cual se llega a la conclusión de que la alternativa más conveniente es el desarrollo del sistema de lodos activados, con la inclusión de un tratamiento primario (decantación primaria).

Para el tratamiento de lodos sugiere el tratamiento por digestión anaerobia.

PROCESO DE DISEÑO

El siguiente es el esquema de tratamiento propuesto por Witteveen + Bos para Denys N.V.:



Esquema de la Alternativa de tratamiento con lodos activados.

Parámetros de Diseño

Los parámetros de diseño que fueron adoptados en ese estudio son:

Tabla 2-8: Parámetros de Diseño de la PTAR Guangarcucho, Estudios de Wittenveen + Bos

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Población equivalente	p.e.	367.000
Caudal promedio	L/s	1.200
Caudal promedio	m ³ /h	4.320
Caudal promedio	m ³ /d	103.680
Caudal máximo	m ³ /h	8.640
Carga de DBO ₅	kg/d	16.856
NTK	kg/d	2.074
P-total	kg/d	570
SST	kg/d	20.218
Coliformes	NMP/100 mL	5,1 x 10 ⁸
Temperatura mínima	°C	14
Temperatura media	°C	17,5
Temperatura máxima	°C	23

Fuente: Estudio de Wittenveen + Bos, 2011

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Las concentraciones con las que se trabajó en ese proyecto, son:

Tabla 2-9: Concentraciones del Agua Cruda para el Diseño de la PTAR Guangarcucho, según Estudios de Wittenveen + Bos

CONCENTRACIONES DE DBO ₅ Y SST	Número	Unidad	DBO ₅	SST
Desde Cuenca hasta la planta de Ucubamba	1	mg/L	137	195
Llega a la planta de Ucubamba	2	mg/L	137	195
Sale de la cámara de ingreso de Ucubamba hasta Guangarcucho	3	mg/L	137	195
Desde Cuenca hasta Guangarcucho	4	mg/L	137	195
Desde Azogues hacia Guangarcucho	5	mg/L	219	195
CONCENTRACIÓN TOTAL A TRATAR EN LA PTAR GUANGARCUCHO	6	mg/L	163	195

Fuente: Estudio de Wittenveen + Bos, 2011

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

La DBO₅ aportante desde Cuenca ha sido tomada de datos medidos en la planta de Ucubamba

La DBO₅ muestra variaciones muy fuertes según mediciones durante el período 1997 - 1998

La variación de la DBO₅ y la DQO son similares, según mediciones realizadas cada 2 horas en junio/2011

La DBO₅ de Azogues, ha sido tomada con un promedio de 53 g/hab-d (117.769 habitantes al 2030)

El caudal de diseño calculado fue de 1.058 L/s, pero el caudal determinado para el diseño se ha redondeado a 1.200 L/s, los valores de DBO₅, SST, NTK, P total, Coliformes y temperatura, han sido tomados de los análisis realizados en la planta de Ucubamba.

Calidad del Agua del Efluente

La calidad del agua en este diseño es la misma que se ha considerado para las alternativas de TYPASA, es decir son los valores que se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2-10: Calidad del Agua Tratada, según Estudios de Wittenveen + Bos

CALIDAD DEL AGUA TRATADA (EFLUENTE)		
DBO ₅	mg/L	25
SST	mg/L	35
CF	NMP / 100 mL	40.000
pH		6,5 - 9

Fuente: Estudio de Wittenveen + Bos, 2011

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Con estos parámetros se ha trabajado teniendo los siguientes resultados de los diseños preliminares.

LÍNEA DE TRATAMIENTO DEL AGUA

Pretratamiento

Rejilla.- una rejilla gruesa para 8.640 m³/h, dos rejillas finas para 4.320 m³/h, paso libre de 6 mm.

Desarenador.- para remover arenas, gravas y material particulado que pueda sedimentar, con las siguientes características principales:

- tasa de sedimentación: 30 m³/m²-h,
- dimensiones: 13,5 m x 13,5 m x 1,0 m,
- tiempo de retención de sedimentos: 7 días
- Número de unidades: 2

Tanque de Sedimentación Primaria

Calculado para reducir la carga contaminante por sedimentación, material flotante formado por aceites y grasas, se espera una reducción del 30 % de la DBO₅, 10 % del Nitrógeno Kjeldahl y 35 % de SST.

Los resultados de cálculo son:

Carga superficial:	2,5 m ³ /m ² -h
Área requerida:	3.456 m ²
Número de tanques:	3
Superficie de cada tanque:	1.152 m ²
Diámetro:	38,3 m
Número de bombas de lodos:	3
Capacidad de cada bomba:	50-100 m ³ /h

Se ha previsto una estructura para retención de grasas o aceites que serán descargados al tanque digestor.

Tanque de Aeración

El tipo de aeración propuesto es de burbujas de aire, las características resultantes son:

Carga de lodo:	0,20 kg DBO ₅ / kg ds – d
Concentración:	4,0 g/L
Carga de DBO ₅ :	11.799 kg / d
Carga de N Kjeldahl:	1.866 kg NTK / d
Carga de SST:	13.141 kg SST / d
Volumen total del tanque:	14.749 m ³
Número de tanques:	6
Volumen de cada tanque:	2.458 m ³
Profundidad del tanque:	5 m
Área superficial del tanque:	492 m ²
Ancho:	8 m
Largo:	61,5 m

Tipo de aeración:	burbujas de aire
Número de sopladores:	6
Capacidad de cada soplador:	3.400 Nm ³ /h

Tanque de Sedimentación Secundaria

En el tanque de sedimentación secundaria, se produce la separación de la biomasa contenida en los lodos y del agua clarificada, parte del lodo sedimentado será recirculado hacia el tanque de aeración.

Los resultados de los cálculos son:

Carga superficial:	0,93 m ³ /m ² – h
Área superficial total:	9.290 m ²
Número de tanques:	6 u
Área superficial de cada tanque:	1.548 m ²
Diámetro de cada tanque:	44,4 m
Profundidad en el borde externo:	2,0 m
Pendiente del fondo del tanque:	1:12
Número de bombas recirculación:	6
Capacidad de las bombas:	5.769 m ³ /h
Capacidad de cada bomba:	960 m ³ /h

Cloración

Para la reducción de coliformes, se ha previsto la aplicación de cloro gas previo a la descarga, los resultados para este proceso son:

Coliformes esperados en la salida del tanque secundario:	5,1 x 10 ⁶ NMP / 100 mL
Límite de coliformes permitidos en la descarga al río:	< 40.000 NMP / 100 mL
Tiempo de contacto para Q _{máx} :	30 min
Volumen del tanque de contacto:	4.320 m ³
Profundidad del tanque de contacto:	5,0 m
Ancho del canal de contacto:	5,0 m
Ancho del tanque de contacto:	26,5 m
Largo del tanque de contacto:	35,5 m
Dosis de cloro:	13,0 kg Cl ₂ /h
Dosis de cloro después de la dilución:	3.685 L / h
Tiempo de almacenamiento de los cilindros de cloro gas:	30 días
Volumen de almacenamiento:	7 m ³

LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

Producción de Lodos

Los lodos se producen en dos unidades, el tanque de decantación primaria y el tanque de sedimentación secundaria, los valores esperados son:

Lodo primario:	7.076 kg ds/día
Lodo primario:	0,8 % ds
Flujo de lodo primario para espesador:	885 m ³ /día
Lodo primario luego del espesamiento:	4%
Caudal de lodo primario:	177 m ³ /día
Producción de lodo secundario:	0,86 kg ds/Kg DBO ₅
Lodo secundario:	10.147 kg ds/día
Lodo secundario:	0,5 % ds
Caudal de lodo secundario al espesador:	2.029 m ³ /día
Lodo secundario luego del espesador:	4 %
Caudal de lodo secundario:	254 m ³ /día

Espesador de Lodo Primario

El lodo primario se espesa por efecto de la gravedad. Esto reduce el volumen de lodo que fluye posteriormente a la digestión. El agua del espesador de lodo primario regresa al inicio de la PTAR.

Los resultados del dimensionamiento son:

Carga de lodo al espesador:	30 kg / m ² – día
Área del espesador primario:	236 m ²
Número de tanques:	1 u
Diámetro del tanque:	17,3 m
Altura del tanque:	3,0 m

Espesador de Lodo Secundario

Carga de lodo secundario al espesador:	20 kg / m ² – día
Área del espesado de lodo secundario:	507 m ²
Número de tanques:	2 u
Área de cada tanque:	254 m ²
Diámetro del tanque:	18 m
Altura del tanque:	3,0 m

Tanque de Mezcla de Lodos

En este tanque se mezclan los lodos primario y secundario, las dimensiones calculadas son:

Tiempo de retención:	2 h
Caudal:	431 m ³ / día
Volumen:	18 m ³
Altura del tanque:	2 m
Diámetro:	4,8 m

Digestor Anaerobio

Los lodos de los decantadores primario y secundario llegan a tres tanques de digestión anaerobia, el período de retención hidráulica es de tres días, el dimensionamiento resultante es:

Volumen del digestor anaerobio:	8.600 m ³
Número de tanques:	3 u
Volumen de cada tanque:	2867 m ³
Altura de cada tanque:	13 m
Diámetro:	16,6 m
Tiempo de retención hidráulico:	20,0 días
Producción de gas:	5.248 Nm ³ / día
Lodo producido:	11.028 kg / día
Concentración a la salida:	2,6 %

Almacenamiento de Gas

Tiempo de retención:	3 h
Volumen total de almacenamiento:	700 m ³
Número de tanques de almacenamiento:	1 u
Número de quemadores:	1 u

Generación de Energía y Calor

Se ha estimado que se puede utilizar el gas generado para producir calor y energía eléctrica, los valores calculados son:

Producción de biogás:	5.250 Nm ³ / día
Producción anual de biogás:	1.916.250 Nm ³ / año
Contenido de metano (CH ₄):	65 %
Contenido de energía primaria del biogás:	6,38 kWh / Nm ³
Número de generadores:	3 u
Eficiencia eléctrica:	39%
Eficiencia térmica:	48 %
Potencia eléctrica de cada generador:	181 kW _e
Potencia eléctrica por cada generador térmico:	223 kW _{th}

Depósito de Lodo Digerido

Los lodos digeridos son depositados en un tanque previo al envío a los filtros prensa. Las dimensiones son:

Volumen	431 m ³ / día
Tiempo de retención:	3 días
Volumen del tanque:	1.292 m ³
Número de tanques:	2 u
Volumen de cada tanque:	646 m ³
Altura de cada tanque:	3 m

Diámetro de cada tanque: 16,6 m

Secado de Lodos

Se ha planteado el secado de lodos en filtros prensa, donde los lodos serán secados hasta lograr un contenido de sólidos del 30%, los resultados son:

Volumen de lodos:	431 m ³ / día
Porcentaje de lodos después del secado:	30%
Número de filtros prensa:	3
Capacidad específica de filtración:	1,65 kg / m ² h
Área de cada filtro:	312 m ²
Número de horas en operación:	12 h (por día)
Capacidad de cada filtro:	12 m ³ / h
Volumen después del secado:	44.1 m ³ / día
Agua recirculada:	386 m ³ / día

Será necesario aplicar una dosis de polielectrolito para alcanzar el secado de lodos hasta obtener un 30 % de contenido de sólidos.

Dosificación de Polielectrolito

Dosis por filtro:	10 g / kg lodo
Dosis por día por filtro:	110 kg / día
Efectividad:	50%
Cantidad requerida de polielectrolito:	80.505 kg / año 221 kg / día
Tiempo de almacenamiento:	60 días
Volumen de almacenamiento:	15 m ³

Silo para Lodo Seco

El lodo seco será almacenado en un silo previo al envío a la disposición final.

Número de silos:	1 u
Volumen diario:	44,1 m ³ / día
Almacenamiento:	3 días
Volumen de almacenamiento:	132 m ³
Diámetro:	4 m
Altura:	10,5 m

AGUA PARA PROCESOS DEL TRATAMIENTO

Se requiere agua para procesos de tratamiento, en los procesos de cloración y en la preparación del polielectrolito, el caudal requerido es 40 m³ / h.

CONTROL DE OLORES

Se ha recomendado el control de olores en la estación de bombeo al ingreso a la planta y en los procesos de pretratamiento. El tratamiento se lo realiza con filtros de lava, el dimensionamiento es el siguiente:

Capacidad:	4.000 m ³ /h
Capacidad específica del filtro:	150 m ³ / m ² h
Área de cada filtro:	27 m ²
Número de filtros:	2
Diámetro de cada filtro:	4 m

DISEÑO CIVIL DE LA PTAR

El sitio propuesto para la nueva planta de tratamiento se encuentra aproximadamente a 9 km al este de la Planta de Ucubamba.

El terreno presenta una inclinación por lo que proponen colocar la cámara de contacto en la parte más baja del sitio de manera que la línea del tratamiento siga la pendiente del terreno.

Para el diseño preliminar no se dispone de nivel de inundación, por lo que se asumió un valor de 2.332 msnm, valor que también será utilizado para los cálculos hidráulicos.

Desde un punto de vista geológico la zona es terraza aluvial con la presencia de cantos rodados (con 0,50 m de diámetro). Se espera que el depósito aluvial tenga un máximo de 4 a 8 metros de profundidad, bajo el cual se pueden esperar rocas sedimentarias de edad terciaria, principalmente lechos de areniscas y piedras de esquisto.

Se hace una breve descripción de la parte civil de cada uno de los elementos de la planta de tratamiento, por ejemplo se indica el material del que serán construidos, dónde serán colocadas las estructuras y si requiere de algún equipo como vertederos, bombas, etc.

DISEÑO MECÁNICO DE LA PTAR

El equipo mecánico necesario en la planta se ha dividido de acuerdo al proceso, éstos son:

- Equipo para la línea de agua.
- Equipo para la línea de lodos.
- Equipo para olores.
- Búfer de biogás, llamarada, equipos de cogeneración.
- Equipos de climatización.
- Equipos para los servicios públicos.
- Un equipo de elevación o bombeo.

Para cada grupo de equipos se dispone de información como descripción, capacidad, tipo, el número requerido, etc.

DISEÑO ELÉCTRICO DE LA PTAR

En esta sección se describen las instalaciones eléctricas:

- Fuente de poder.
- Transformador.
- Switch de alto voltaje.
- Tierra.
- Protección de rayos.
- Switch de baja tensión y caja de control de engranajes.
- Control.
- Alarmas.
- Comunicación entre puntos de distribución de bajo voltaje.
- Instalaciones eléctricas para edificios.

e) Institucional aspects efectuado por la consultora Witeveen + Bos/Denis Nv

El proyecto relacionado con los Aspectos Institucionales, fue elaborado, para ETAPA EP, por la consultora Witeveen + Bos/Denis NV, entre los años 2011 y 2012.

Los estudios encargados a la consultora Witeveen + Bos/Denis NV contemplan la actualización del diseño preliminar de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales, el diseño preliminar de los principales colectores, un estudio de viabilidad y un informe sobre los aspectos institucionales de ETAPA EP. Este informe contiene los aspectos institucionales, en tanto que, los diseños preliminares y la viabilidad del estudio están en un informe separado que ya fuera tratado en el numeral d).

El documento inicia con una breve descripción de Cuenca, ciudad en donde se llevará a cabo el proyecto de los Planes Maestros Fase II. Seguido, se tiene una descripción de la empresa ETAPA EP. Se describen aspectos como su función, el presupuesto anual para el año 2011, las fuentes de sus ingresos, las tarifas de agua, control de la contaminación de agua y su organización.

En el estudio de la Fase II del Plan Maestro se considera que la PTAR existente debe ser optimizada de tal manera que se pueda extender su período de diseño, no obstante de aquello, se establece la necesidad del diseño de una nueva PTAR ubicada en Guangarcucho que, para el horizonte de diseño definido el año 2030, tendrá un caudal de diseño de 1.054 L/s, de los cuales, 496 L/s corresponden al caudal de exceso de los PTAR Ucubamba, 232 L/s del área de la ciudad de Cuenca comprendida entre Ucubamba y Guangarcucho y 330 L/s, de la ciudad de Azogues.

La calidad del efluente de la nueva PTAR se fija con los siguientes límites:

- 25 mg DBO₅/L
- Un máximo de 40.000 NMP/100 mL
- 35 mg SST/L
- pH entre 6,5 y 9

El sitio seleccionado para la nueva planta de tratamiento se encuentra aproximadamente a 9 km al este de Ucubamba. Este sitio es considerado ideal desde el punto de vista de disponibilidad de espacio y ventajas para el costo del transporte del agua residual, además, se menciona que es conveniente por estar alejado de áreas ecológicas vulnerables.

Con respecto a la disposición del lodo de la PTAR Guangarcucho, el estudio dice que ETAPA EP confirmó que puede ser llevado al relleno sanitario de Pichacay, el cual es propiedad de la empresa municipal EMAC. La distancia entre Guangarcucho y Pichacay es alrededor de 31 km. Según las leyes sanitarias, los rellenos pueden aceptar sólidos y semi-sólidos no peligrosos. En el caso del lodo de la planta de Guangarcucho no existen estos residuos ya que no existe una contaminación industrial importante, pero debe ser deshidratado para alcanzar un 30% del contenido de sólidos.

El informe incluye el análisis de los costos de la construcción y operación de la PTAR, y los correspondientes a la adquisición de los terrenos de las tres alternativas estudiadas: Sistema de lodos activados, Zanjas de oxidación y Filtros percoladores. Un resumen de estos costos se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2-11: Costos de Construcción y Operación de la PTAR, según Estudios de Wittenveen + Bos

Alternativa	Costos de Inversión (10 ⁶ USD)	Costos de Operación (10 ³ USD/año)
Lodos Activados	14,0	1.623
Zanjas de oxidación	13,0	2.175
Filtros percoladores	17,0	1.761

Fuente: Estudio de Wittenveen + Bos, 2011

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

En base al análisis técnico y económico, el informe concluye que el sistema de lodos activados es la opción más viable.

f) Estudios poblacionales ajustados al censo nacional de poblacional y vivienda efectuado por el gobierno nacional en el Año 2010

El estudio ha sido realizado por el ingeniero Felipe Ordóñez, técnico de ETAPA EP. Se dispone de información en tres tipos de archivos:

1. Un archivo de Excel que contiene información del INEC relacionada con la proyección de población del Ecuador, por cantones y para 10 años, desde el 2010 hasta el 2020.
2. Archivo de GIS de todo el cantón Cuenca, con información por sectores, de los censos de los años 1990 y 2010 y las proyecciones poblacionales anuales desde el año 2011 hasta el 2040.
3. Un archivo pdf elaborado por el INEC con los resultados del censo de población y vivienda en el Ecuador del año 2010 para la provincia del Azuay. La información está dividida en siete tópicos:
 - Estructura de la población.
 - Características generales de la población.
 - Actividades económicas de la población.
 - Características de la educación.
 - Características del hogar.

- Características de la vivienda.
- Datos adicionales.

Si bien esta información es muy valiosa para proyectar la población de un sector determinado o de todo el cantón Cuenca; ETAPA EP, proporcionó al Consorcio la población por quinquenios que aportará o será atendida por la PTAR Guangarcucho.

El archivo pdf del INEC contiene información valiosa para el estudio ambiental del proyecto.

g) Registros históricos de caudales y características de las aguas residuales en estructuras de ingreso de la PTAR Ucubamba

La Empresa ETAPA EP, desde el inicio de funcionamiento de la PTAR Ucubamba, y de manera permanente, realiza el monitoreo del agua de ingreso al tratamiento y también, luego de cada proceso. La PTAR Ucubamba, además del tratamiento preliminar está conformada por dos lagunas aireadas, dos lagunas facultativas y dos lagunas de maduración.

Los documentos del funcionamiento de la PTAR Ucubamba han sido entregados al Consorcio a través de informes mensuales e informes anuales.

Los informes mensuales corresponden a los siguientes períodos: año 1999: meses noviembre y diciembre; años 2000 a 2009: de enero a diciembre; año 2012 a 2015: de enero a diciembre y año 2016: de enero a junio.

Los informes anuales corresponden a los años 2008 hasta el 2012, con excepción del año 2011 que no se ha preparado el informe debido a que se construyeron las obras para el tratamiento de los lodos generados en la planta. En los años: 2013, 2014 y 2015, aunque no se dispone del informe anual, ETAPA EP, posee los registros del funcionamiento de la PTAR de Ucubamba.

Considerando que el sistema de tratamiento de la PTAR Guangarcucho será diferente al de la PTAR Ucubamba, la información que tendrá mayor utilidad para el diseño de la PTAR de Guangarcucho es la correspondiente a la cantidad y calidad del agua cruda, tomando en cuenta además que, del caudal total que ahora llega hasta la PTAR Ucubamba, una parte será procesado en esta planta y lo restante en la PTAR de Guangarcucho.

Aunque, los parámetros que han sido analizados en un año difieren en algo al del otro año, en general, del agua cruda se tienen mediciones de: caudal, pH, DBO₅, DBO₅ soluble, DQO, DQO Soluble, Fósforo Total, Nitratos + Nitritos, Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Suspendidos Volátiles, Sólidos Totales, Sulfatos, Sulfuros, Sustancias Solubles al Hexano, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, Parásitos, Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Berilio, Bismuto, Boro, Cadmio, Cobre, Cobalto, Cromo, Estaño, Estroncio, Hierro, Litio, Manganeseo, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Vanadio, Zinc.

El período analizado para el diseño de la PTAR Guangarcucho es el correspondiente a los últimos cinco años y medio que se dispone información, es decir, los datos del agua cruda de enero a

diciembre de los años: 2010, 2012, 2013, 2014, 2015 y, de enero a junio del año 2016, recordándose que no se tiene información del año 2011.

h) Caracterización de las aguas residuales de la PTAR Ucubamba, efectuado en el año 2012

En el año 2012, además de las mediciones y análisis habituales que se realizan para caracterizar el agua cruda y el funcionamiento de la PTAR Ucubamba; durante el período comprendido entre el 4 y 14 de julio se realizó una campaña intensa, con mediciones y muestreos cada dos horas, durante todo el día, determinando, del agua cruda, lo siguiente: Caudal, DBO₅; DBO₅ soluble; DQO; DQO soluble; P Total; Nitratos+Nitritos; N Amoniacal; N Orgánico; pH; Sólidos sedimentables; Sólidos suspendidos totales; Sólidos suspendidos volátiles; Sólidos totales; Sustancias solubles al hexano; Sulfatos; Sulfuros; Coliformes Totales; Coliformes fecales; Aluminio; Arsénico, Cadmio; Cobre; Cromo; Hierro; Manganeso; Mercurio; Níquel; Plomo y Zinc.

Esta información es un aporte adicional para la caracterización del agua cruda a ser tratada en la PTAR Guangarcucho.

i) Caracterización adicional solicitada por el Consorcio

El Consorcio solicitó a la Administración de Proyecto, la realización de muestreos que permitan determinar los siguientes parámetros: DBO₅; DBO₅ soluble; DQO; DQO soluble; P Total, P soluble; NKT; NKT soluble.

Esta información ha sido obtenida durante los meses de mayo y junio de 2016 y ha sido utilizada como información de ingreso al modelo GPS-X que analiza la eficiencia de las alternativas estudiadas.

j) Recopilación de legislación ambiental vigente y relativa al tema

ETAPA EP, proporcionó al Consorcio, la siguiente documentación sobre las políticas o leyes ambientales:

- Ley de gestión ambiental.
- Ley de prevención y control de la contaminación ambiental.
- Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.
- Reglamento de la ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua.
- Políticas Básicas Ambientales del Ecuador.

Ley de Gestión Ambiental

El documento data del año 2004 y consta de seis Títulos:

- Título I: Ámbito y principios de la gestión ambiental.
- Título II: Del régimen institucional de la gestión ambiental.

- Título III: Instrumentos de gestión ambiental.
- Título IV: Del financiamiento.
- Título V: De la información y vigilancia ambiental.
- Título VI: De la protección de los derechos ambientales.

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental

La ley se publicó, en el Registro Oficial, el 10 de septiembre de 2004 y contiene tres capítulos:

- Capítulo I: De la prevención y control de la contaminación del aire.
- Capítulo II: De la prevención y control de la contaminación de las aguas.
- Capítulo III: De la prevención y control de la contaminación de los suelos.

Con respecto a la prevención y control de la contaminación de las aguas, en el Art. 6 se dice: “Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades”.

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

La ley se publicó, en el Registro Oficial, el 6 de agosto de 2014 y contiene cinco títulos:

- Título I: Disposiciones preliminares.
- Título II: Recursos hídricos.
- Título III: Derechos, garantías y obligaciones.
- Título IV: Aprovechamiento del agua.
- Título V: Infracciones, sanciones y responsabilidades.

Reglamento de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua

El documento fue publicado el 20 de abril de 2015, en el Primer Suplemento del Registro Oficial No. 483, con un contenido de cinco libros:

Libro Primero: Sistema Nacional Estratégico del Agua:

- Título I: La Autoridad Única del Agua.
- Título II: Las Organizaciones de Usuarios y los Consejos de Cuenca.
- Título III: El Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua.
- Título IV: Planificación hídrica.
- Título V: Gestión comunitaria del agua.

Libro Segundo: Dominio Hídrico Público:

- Título I: Del dominio hídrico público.

Libro Tercero: Autorizaciones:

- Título I: Disposiciones generales.

- Título II: Tipos de aprovechamiento productivo del agua y régimen de autorización.
- Título III: Requisitos y procedimientos para el otorgamiento de autorizaciones de uso de agua y aprovechamiento productivo de agua.

Libro Cuarto: Tarifas:

- Título I: Las tarifas.

Libro Quinto: Infracciones:

- Título I: De las infracciones y procedimiento.

Políticas Básicas Ambientales del Ecuador

El documento consta de ocho libros:

- Libro I: De la Autoridad Ambiental.
- Libro II: De la Gestión Ambiental.
- Libro III: Del Régimen Forestal.
- Libro IV: De la Biodiversidad.
- Libro V: De los Recursos Costeros.
- Libro VI: De la Calidad Ambiental.
- Libro VII: Del Régimen Especial: Galápagos.
- Libro VIII: Del Instituto para el Ecodesarrollo Regional Amazónico ECORAE.

En el Libro VI, Capítulo III, Artículos 17 al 20, se trata sobre la Realización de un estudio ambiental, la Revisión, aprobación y licenciamiento ambiental, el Seguimiento ambiental y la Participación ciudadana en la gestión ambiental. En el Capítulo IV está el Proceso de evaluación de impactos ambientales, con el Análisis institucional, el inicio y determinación de la necesidad de un proceso de evaluación de impactos ambientales, los términos de referencia para la realización de un estudio ambiental y, la realización, revisión y aprobación del estudio ambiental.

Además de la información descrita, dentro del estudio ambiental del proyecto se incluirá la información adicional pertinente.

k) Estudios hidrológicos del cuerpo receptor y recopilación de estudios existentes para los ríos Burgay y Paute

Estudios Hidrológicos del Cuerpo Receptor

El documento entregado por ETAPA EP, se refiere al Estudio Hidrológico de la Cuenca Alta del Río Paute, y forma parte del Proyecto de Manejo y Conservación de la Cuenca del río Paute. Proyecto del INECEL, año 1990.

El proyecto analiza la información básica de las estaciones meteorológicas y fluviométricas, de la cuenca alta del río Paute, hasta la estación fluviométrica Paute en Paute, cubriendo un área de 3.676 km². Dentro de las subcuencas analizadas está el río Cuenca.

El proyecto, para las subcuencas que analiza, suministra: la caracterización física; valores meteorológicos; valores medios y extremos de lluvias anuales y mensuales e intensidades; valores medios y extremos de caudales diarios, mensuales, anuales e instantáneos; los usos consuntivos. Al final da recomendaciones para mantener una permanente y confiable actualización de las cuantificaciones hídricas de la cuenca.

Si bien el proyecto es muy valioso y cubre un área importante de la cuenca del Paute, existen otros estudios hidrológicos que son más específicos para el tramo de río Cuenca en el que se ubicará la PTAR Guangarcucho, como por ejemplo, el realizado para el diseño del puente sobre el río Cuenca como parte de los estudios de la Nueva Vía de Circunvalación Norte de Cuenca y el estudio que ETAPA EP ha contratado con la empresa Consulproy para el estudio de la vulnerabilidad del río Cuenca, mismos que se analizan más adelante en este informe.

Estudios Existentes para los Ríos Burgay y Paute

En el mes de febrero de 2016, por pedido de la Administración del estudio, técnicos de ETAPA EP, realizaron muestreos del agua, en época seca, en los ríos Cuenca, Burgay y Paute.

Los resultados de estos muestreos permiten conocer las características físicas y químicas actuales de estos ríos, uno de ellos, el río Cuenca, cuerpo receptor del efluente de la PTAR Guangarcucho. Se determinaron los siguientes parámetros: Oxígeno disuelto; Temperatura; DBO₅; DQO; Fósforo Total; Nitrógeno Amoniacal; Nitrógeno Orgánico; Sólidos Sedimentables; Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales.

l) Estudio hidrológico e hidráulico y geológico-geofísico para el diseño y construcción del puente sobre el río Cuenca

Los estudios para el diseño de la Nueva Vía de Circunvalación Norte de Cuenca fueron realizados por la Asociación Idrobo & Asociados – IAD Consultores, durante el año 2009.

De estos estudios, y de interés para el presente proyecto de tratamiento de aguas residuales, están el estudio hidrológico e hidráulico y el geológico-geofísico para el diseño del puente sobre el río Cuenca, ubicado al pie del terreno previsto para la ubicación de las obras de la PTAR Guangarcucho. La información de la geología-geofísica ha sido analizada dentro del informe geológico-geotécnico del presente proyecto.

En el estudio hidrológico se calcula el caudal máximo y el nivel máximo que alcanzará el río para diferentes períodos de retorno en la sección seleccionada para la construcción del puente.

Para la estimación de los caudales máximos que circularán por el puente a diseñar se emplearon varias metodologías, habiéndose aceptado en los estudios la que utiliza la información de los Anuarios Hidrológicos que publica el INAMHI y el ajuste por medio de la función Gumbel, obteniéndose los siguientes resultados de caudal para períodos de retorno (Tr) de 50 y 100 años:

Para Tr = 50 años $Q_{\text{máx}50} = 442 \text{ m}^3/\text{s}$
 Para Tr = 100 años $Q_{\text{máx}100} = 492 \text{ m}^3/\text{s}$

El nivel de agua para un Tr de 100 años resulta igual a 2.326,1 msnm, el nivel de estiaje igual a 2.323,8 msnm y el nivel medio normal de 2.324,0 msnm.

En estos mismos estudios, aunque no se hayan adoptado sus resultados para el diseño del puente, se tiene la estimación de caudales por medio del programa de modelación hidrológica HYMO 10, con los siguientes resultados de caudales máximos.

Para Tr = 50 años $Q_{\text{máx}_{50}} = 570,6 \text{ m}^3/\text{s}$
 Para Tr = 100 años $Q_{\text{máx}_{100}} = 716,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Por su parte ETAPA EP, en el año 2016, contrató la realización del estudio de vulnerabilidad del río Cuenca que incluye el estudio hidrológico y el análisis de inundaciones. Dentro del área de estudio está el sector previsto para la PTAR Guangarcucho. Los resultados de este estudio tienen gran importancia para el diseño de la implantación de las obras del tratamiento Guangarcucho.

m) Levantamiento topográfico de terrenos en donde se implantará la PTAR

Como parte de los pliegos para la contratación de los estudios, se proporcionó, a los oferentes, el levantamiento topográfico preliminar de los terrenos previstos para la implantación del tratamiento.

Esta información ha sido utilizada para las implantaciones iniciales de los componentes de la PTAR Guangarcucho, sin embargo como se explica más adelante, para el presente estudio, se ha realizado el levantamiento topográfico detallado del área establecida por ETAPA EP para la ubicación de la PTAR.

n) Análisis de la vulnerabilidad a eventos de crecida y diseño de obras físicas para la protección de la margen derecha del río Cuenca, en el sector de Guangarcucho

El estudio ha sido desarrollado para ETAPA EP, por la empresa Consulproy, en el año 2016, con el objetivo general de establecer la vulnerabilidad a eventos de crecida y diseñar las obras físicas para la protección de la margen derecha del río Cuenca, en el sitio donde se implementará la nueva planta de aguas residuales Guangarcucho.

Para alcanzar este objetivo, el proyecto contempla la realización de un estudio hidrológico y de un estudio hidráulico con el modelo matemático y el diseño de las obras de protección de los terrenos de la margen derecha del río Cuenca.

En el estudio hidrológico se analizan los siguientes proyectos anteriores realizados en la zona: Estudios hidrológicos de los Planes Maestros del Área Metropolitana de la ciudad de Cuenca (Ing. Rafael Estrella-Ing. Vladimiro Tobar); Estudio para la mitigación del impacto causado por el río Cuenca en el tramo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ucubamba (Ing. Edison Timbe); Estudios de Factibilidad, Impactos Ambientales e Ingeniería Definitivos para la construcción de la Nueva avenida de Circunvalación Norte de Cuenca: Estudio Hidrológico e Hidráulico del puentesobre el río Cuenca (Asociación Idrobo & Asociados – IAD Consultores); y, Estudios de Investigación de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgos en la provincia del Azuay, Riesgo Hidrológico y Climatológico (Ing. Rafael Estrella-Ing. Vladimiro Tobar). El estudio hidrológico concluye que, el caudal del río Cuenca, en el sector de ubicación la PTAR Guangarcucho, para un período de retornode 100 años, resulta igual a $728 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el estudio hidráulico se elaboró un modelo matemático para representar las características hidráulicas del cauce, así como los niveles de inundación en el sector donde se implantará la PTAR. El modelo utilizado fue el HEC-RAS en una longitud de 3,3 km. Los resultados de la modelación

indican que, en las condiciones actuales, el terreno previsto para la PTAR Guangarcucho puede soportar, sin mayores desbordamientos, crecidas de hasta 25 años de período de retorno.

El estudio hidráulico concluye con las recomendaciones y el diseño de las obras necesarias para proteger las márgenes del río para crecidas de 100 años de período de retorno. Entre las obras que se recomienda está la construcción de plataformas sobre el nivel de inundación mediante rellenos y la protección de las plataformas del relleno mediante el uso de enrocado.

Al haberse definido los niveles de inundación y las acciones requeridas para proteger las obras de la PTAR Guangarcucho frente a las crecidas del río Cuenca, los resultados y diseños del estudio de vulnerabilidad han sido de mucha utilidad para el diseño de la PTAR Guangarcucho. Es así que, como parte de las obras de la PTAR Guangarcucho, se ha considerado el enrocado de protección de la margen derecha del río Cuenca, en el tramo de interés para las obras del tratamiento Guangarcucho.

o) Información de los interceptores que llegan a la PTAR Guangarcucho

Está previsto que a la PTAR llegarán dos interceptores: por la margen izquierda el denominado como XIIB y por la margen derecha el XIIB’.

El interceptor de la margen izquierda XIIB se encuentra construido en su totalidad, es decir, hasta el cajón que entregará el agua al tratamiento. De este interceptor, ETAPA EP, ha proporcionado, al Consorcio, los planos constructivos.

El interceptor de la margen derecha XIIB’ ha sido construido parcialmente, quedando el tramo final, de una longitud aproximada de 300 m, por completarse. La información del trazado en planta de la parte construida de este interceptor también ha sido entregada por ETAPA EP.

La información de estos interceptores es de utilidad para el proyecto de la PTAR, al proporcionar datos como: el caudal de diseño y la capacidad máxima de transporte, la cota de llegada de las tuberías de los interceptores en el último cajón que, siendo el punto final de los interceptores, es al mismo tiempo, el punto inicial del tratamiento.

2.1.2 Información de Fiscalización

La Fiscalización de los estudios proporcionó al Consorcio, la siguiente información válida para la realización del Estudio Ambiental del proyecto:

- Hoja con los pares de coordenadas geográficas del sitio de implantación del proyecto.
- Formatos de ingreso de información del proyecto al Sistema Único de Información Ambiental del Ministerio del Ambiente.
- Formatos para el registro de la información correspondiente al levantamiento del medio biótico y sus anexos, con las instrucciones para su elaboración.
- Plantillas para la consignación de la información correspondiente al levantamiento de la línea base ambiental del medio físico.
- Plantilla para la preparación del listado de siglas y abreviaturas.
- Modelo de términos de referencia para proyectos de saneamiento.

2.1.3 Información de otras entidades

Para el desarrollo del proyecto, de manera especial, como información para el estudio ambiental, se ha solicitado información a las siguientes entidades:

a) **Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP**

A la Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP, se solicitó la siguiente información:

- Informe de monitoreo de la calidad físico-químico de los ríos de Cuenca, año 2015.
- Informe de monitoreo de la calidad biológica de los ríos de Cuenca, año 2015.
- Resultados de monitoreo calidad físico-químico y biológica de los ríos de Cuenca, en los meses de febrero, marzo y abril del 2016.
- Datos meteorológicos del año 2015 y lo que se disponga del 2016, del cantón Cuenca y específicamente de las estaciones más cercanas al área del proyecto.

b) **Dirección General de Planificación del GAD Municipal del cantón Cuenca**

A esta Dirección se pidió información del "Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón, Actualización 2015", relacionada con: Geología, Tipos y usos de suelo, Hidrología, Climatología, Red vial, Manzanas, Cobertura vegetal, Información socio-económica, División geográfica del cantón.

c) **Empresa Municipal de Movilidad de Cuenca (EMOV)**

A la EMOV, fue solicitado el Informe de la calidad de aire y ruido de Cuenca, año 2015 y la Información meteorológica del año 2015 y de lo disponible del año 2016, dentro del área de localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

d) **Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador, IERSE**

Al IERSE se solicitó el Informe de monitoreo de ruido en la ciudad de Cuenca del año 2015.

e) **Dirección de Gestión de Riesgos del GAD Municipal del cantón Cuenca**

A esta Dirección se solicitó información sobre riesgos: inundaciones, deslizamientos, condiciones físicas, relacionados con la zona prevista para la ubicación de planta de tratamiento Guangarcucho.

f) **Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues, EMAPAL EP**

A la EMAPAL EP, se les solicitó el Informe de monitoreo de la calidad físico-químico y biológica de los ríos Burgay y Paute, de los años 2015 y 2016.

2.2 Caracterización del agua residual y su tratabilidad

El objetivo de esta actividad es la caracterización del agua residual que será el afluente a la PTAR Guangarcucho, mediante el análisis de sus características físico-químicas y bacteriológicas, para evaluar las condiciones de tratabilidad biológica del agua residual de la ciudad de Cuenca.

En vista de que el caudal afluente a la PTAR Guangarcucho es en mayoría el excedente de la actual PTAR de Ucubamba, el análisis incluyó un estudio de los datos históricos de entrada a esta planta, obtenidos de muestreos y pruebas rutinarias en los últimos cinco (5) años y medio. Se considera que los registros históricos de parámetros físicoquímicos y bacteriológicos en la PTAR Ucubamba, que recibe el agua residual de casi la totalidad de la ciudad de Cuenca, son representativos del afluente esperado en la PTAR Guangarcucho. El análisis de datos históricos sirvió para determinar la tendencia en el tiempo de los parámetros estudiados y proyectar los valores futuros a ser utilizados en el diseño de la nueva PTAR.

Desde el punto de vista práctico es posible evaluar eficientemente las características de tratabilidad del agua residual mediante el uso de simulaciones realistas y dinámicas computarizadas. El uso de herramientas automatizadas provee una manera eficiente, en costo y tiempo, de evaluación de las características del agua residual, y además la posibilidad de realizar varias simulaciones bajo las mismas condiciones. El modelo utilizado para este proceso es el GPS-X de Hydromantis, en tantoque, el módulo “Influent Advisor” ha sido empleado para el análisis de los datos de entrada al modelo.

2.2.1 Metodología

La caracterización del agua residual y el análisis de las condiciones de tratabilidad se realizó mediante el estudio de la información medida en el afluente a la PTAR Ucubamba, considerándola representativa del agua residual que llegará a la PTAR Guangarcucho. Los resultados del análisis fueron comparados con parámetros típicos en aguas residuales que esperan recibir un tratamiento biológico. Adicionalmente, para validar las condiciones de tratabilidad de los datos del afluente, se aplicó el software de modelación computarizada GPS-X utilizando el módulo incorporado de caracterización del afluente “Influent Advisor”.

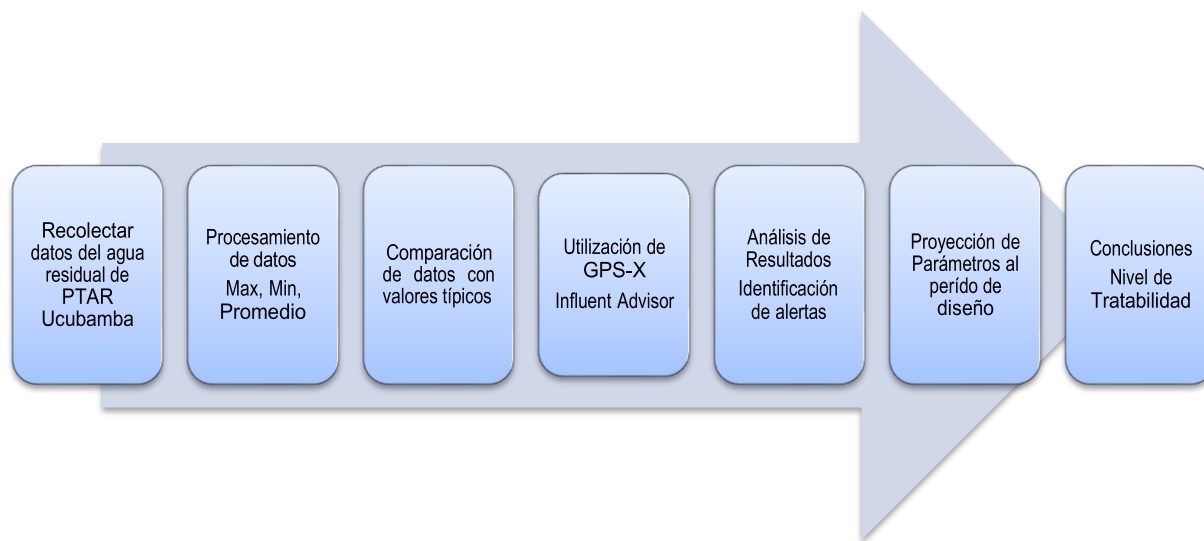
Para cumplir el objetivo de esta actividad se siguieron los siguientes pasos y análisis:

1. Recolectar datos históricos del agua residual afluente a la PTAR Ucubamba de ETAPA EP entre los años 2010 a 2016.
2. Procesamiento de datos para determinar los valores promedios, mínimos y máximos mensuales y anuales, de cargas, concentraciones y aportes per cápita de parámetros como:
 - a. DBO₅: Demanda bioquímica de oxígeno.
 - b. DQO: Demanda química de oxígeno.
 - c. ST: Sólidos totales.
 - d. SST: Sólidos suspendidos totales.
 - e. SSV: Sólidos suspendidos volátiles.
 - f. Nitrógeno total.
 - g. PT: Fósforo total.
3. Comparación de datos históricos con valores típicos de aguas residuales.
4. Utilización del Modelo GPS-X y el módulo Influent Advisor de Hydromantis

5. Análisis de resultados del modelo y de promedios de las relaciones: DQO/DBO₅; SSV/SST; DQO/TKN.
6. Proyección de caudales, cargas, y concentraciones al período de diseño.
7. Conclusiones.

La Figura 2.1 muestra un diagrama de la metodología para el estudio de la tratabilidad.

Figura 2.1: Diagrama de la Metodología del Estudio de Tratabilidad



2.2.2 Información analizada

Los registros periódicos de la PTAR Ucubamba estudiados corresponden a los años 2010 a 2015, además de una campaña de muestreo de una semana realizada en el año 2012 y resultados adicionales de muestreo en el primer semestre del año 2016. Los parámetros de análisis rutinarios de la PTAR Ucubamba se muestran a continuación en la tabla siguiente.

Tabla 2-12: Resumen de Valores Promedio de Parámetros del Afluente a la PTAR Ucubamba

Año	Caudal	pH	DBO ₅	DQO	ST	SST	SSV	S. Sed.	N-NH ₄ ⁺	N. Org.*	NO ₂ + NO ₃	P. Total	Sulfatos	Sulfuros
	(L/s)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
2010	1165,83	7,20	118,25	292,92	522,58	243,50	125,08	3,63	11,75	9,65	0,41	5,25	47,50	<0,15
2012	1360,83	7,01	96,83	235,33	498,50	221,42	102,75	2,05	10,94	7,19	0,77	3,97	36,50	<0,89
2013	1526,60	7,13	105,75	239,73	468,88	201,06	100,66	2,28	11,27	10,24	0,51	4,10	31,84	<0,60
2014	1575,19	7,17	119,22	286,70	473,83	196,52	107,79	3,07	11,70	9,30	<0,67	4,39	38,60	<0,63
2015	1562,95	7,14	147,26	331,68	511,07	246,45	145,46	4,27	12,84	11,93	0,53	5,01	41,44	<1,07
2016	1740,91	7,04	120,57	402,64	619,30	322,65	180,83	9,26	10,79	13,61	0,78	4,19	45,94	<1,55
Prom.	1488,72	7,12	117,98	298,17	515,70	238,60	127,10	4,09	11,55	10,32	0,60	4,48	40,30	<1,55

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Los datos del año 2011 no se utilizaron, pues en ese año la PTAR estuvo en trabajos de rehabilitación. De acuerdo a los datos en la tabla se identifica un aumento del caudal afluente a la PTAR Ucubamba, y en las concentraciones de DBO₅, DQO, y SST desde el año 2012 hacia el primer semestre del 2016. Un análisis más detallado de la información del afluente y efluente de la PTAR Ucubamba se muestra en el Anexo 2.

2.2.3 Resultados del análisis teórico

Para el análisis teórico de las características del agua residual y condiciones de tratabilidad mediante procesos biológicos, se han tomado en cuenta las necesidades de nutrientes para apoyar el crecimiento celular, las condiciones ambientales, como temperatura y pH, y los componentes inhibitorios.

2.2.3.1 Nutrientes

El objetivo principal del tratamiento biológico es el transformar u oxidar constituyentes biodegradables particulados y disueltos en forma de DBO₅ y DQO en productos finales aceptables (por ejemplo: dióxido de carbono o nuevas células). Esta transformación se obtiene mediante una variedad de microorganismos principalmente bacterias. Para promover el crecimiento microbiano, se necesitan nutrientes. Los requerimientos teóricos de nutrientes en un sistema de tratamiento de lodos activados por cada 100 g de DBO₅ indican que las bacterias requieren 5 g de nitrógeno y un 1 g de fósforo. Esto se refiere comúnmente como la relación DBO₅:N:P en valores de 100:5:1.

Basados en los datos promedio de los años 2010 a 2015 y los correspondientes a los meses de enero a junio del año 2016, en la Tabla 2-13 se muestra el cumplimiento de este criterio durante todo el período de análisis de datos históricos. Los resultados se muestran constantes en los diferentes años y se considera que el agua residual cumple con los requerimientos mínimos de nutrientes para promover el crecimiento microbiano.

Tabla 2-13: Relación Histórica DBO₅:N:P para Crecimiento Microbiano

Año	DBO ₅ (mg/L)	NTK (mg/L)	PT (mg/L)	Relación DBO ₅ :N:P
2010	118,25	21,4	5,25	100:18:4
2012	96,83	18,13	3,97	100:19:4
2013	105,75	21,51	4,10	100:20:4
2014	119,22	21,00	4,39	100:18:4
2015	147,26	24,77	5,01	100:17:3
2016 (Ene - Jun)	120,57	24,40	4,19	100:20:3

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

2.2.3.2 Condiciones Ambientales

Las condiciones aceptables del rango de pH para un sistema de lodos activados, está regularmente entre 6,8 y 7,4. El pH promedio de la información analizada está en 7,12; en consecuencia, cae dentro del rango de pH aceptable.

Para el sistema de lodos activados, las temperaturas óptimas de aguas residuales oscilan entre los 15 y 25 °C. De acuerdo a la información proporcionada de la base de datos de ETAPA EP, la temperatura

del agua residual varía entre 16 °C y 20 °C teniendo un promedio de 18 °C, de tal manera que las temperaturas de aguas residuales están dentro del rango de temperatura óptima.

2.2.3.3 Constituyentes Inhibitorios

Todos los microorganismos requieren una cantidad variable de elementos metálicos para el crecimiento adecuado. Sin embargo, estos metales pueden ser tóxicos cuando están presentes en concentraciones elevadas. La Tabla 2-14 presenta los metales típicos que se encuentran en las aguas residuales y el umbral de concentración correspondiente de efecto inhibitor sobre las bacterias heterótrofas. Basándose en los datos proporcionados (2010 a 2015 y los 7 días de toma de muestras en 2012), todos los metales (As, Cr, Cd, etc.) caen por debajo de los umbrales de concentración. Cuando se presentan niveles superiores a los de los umbrales, se puede producir la inhibición de las actividades microbianas.

Tabla 2-14: Elementos Metálicos Típicos y sus Umbrales de Concentración

Metal	Concentración medida (mg/L)	Umbral de Concentración M&E, 5th Edition, (mg/L)
Arsénico, As	0,03	0,05
Cadmio, Cd	0,02	1,0
Cromo, Cr	0,04	10 (como cromo total)
Cobre, Cu	0,07	1,0
Plomo, Pb	0,10	0,1
Mercurio, Hg	0,006	0,1
Níquel, Ni	0,06	1,0
Zinc, Zn	0,48	1,0

Fuente: ETAPA EP y libro Wastewater Engineering de Metcalf and Eddy/AECOM
Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Cabe indicar que actualmente los ensayos y pruebas para determinar las concentraciones de DBO₅ en el laboratorio de la PTAR Ucubamba se realizan con tres soluciones diferentes que normalmente dan resultados similares, lo cual, bajo este parámetro, se tiene un indicativo adicional de la ausencia de toxicidad orgánica al sistema carbonatado.

2.2.4 Características del afluente de la ciudad de Cuenca

ETAPA EP no realiza periódicamente pruebas de la caracterización de las diferentes fracciones de DQO, nitrógeno o fósforo. A pedido de la Consultora, ETAPA EP realizó una campaña de tres días de muestreo en el mes de mayo para analizar las fracciones de DBO₅, DQO, nitrógeno y fósforo soluble. Los resultados de estas campañas se muestran en el Anexo 2 y en la tabla siguiente se presenta un resumen de los resultados de esta campaña de muestreo.

Tabla 2-15: Campaña Adicional de Muestreo en el Afluente a la PTAR Ucubamba

Parámetro	Unidad	Valor Agua Cruda 23/05/2016	Valor Agua Cruda 25/05/2016	Valor Agua Cruda 30/05/2016
DBO ₅	mg/L	120	123	94
DBO ₅ SOLUBLE	mg/L	< 40	27	31
DQO	mg/L	305	311	254
DQO SOLUBLE	mg/L	76	70	81
FÓSFORO TOTAL	mg/L	4,69	3,88	4,43
FÓSFORO TOTAL SOLUBLE	mg/L	2,40	1,94	2,17
NKT	mg/L	26,58	20,92	25,44
NKT SOLUBLE	mg/L	22,62	14,14	18,94
pH	mg/L	6,95	-	6,98
SST	mg/L	170	294	144
SSV	mg/L	122	148	108

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Para la ciudad de Cuenca, la especiación de los datos del afluente de DQO está limitada a DQO total y DQO soluble. Los siguientes valores de la Tabla 2-16: Datos de Entrada para “Influent Advisor” GPS-X fueron considerados como datos de entrada para el “Influent Advisor” usando el modelo de Nitrógeno y Carbono.

Tabla 2-16: Datos de Entrada para “Influent Advisor” GPS-X

Parámetro	Unidad	Valores Promedio (2010 – 2016)	Valores de la Caracterización Actual	Valores Proyectados año 2050
Caudal	L/s	1.200	1.200	1.200
DBO ₅	mg/L	118,0	144,3	220,0
DQO	mg/L	298,2	333,0	494,0
DQO Soluble	mg/L	75,7	76,3	113,6
SST	mg/L	238,6	200,0	296,0
SSV	mg/L	127,1	103,8	150,0
NH ₄	mg/L como N	11,5	13,2	20,9
Nitrógeno Orgánico	mg/L como N	10,3	12,2	18,6
Nitrógeno Total = NH ₄ + N. Orgánico	mg/L como N	21,8	25,4	39,5
XDQO = DQO Total – DQO Soluble	mg/L	222,5	256,7	380,4
XDQO/SSV		1,75	2,47	2,54
VSS/TSS		0,53	0,52	0,51

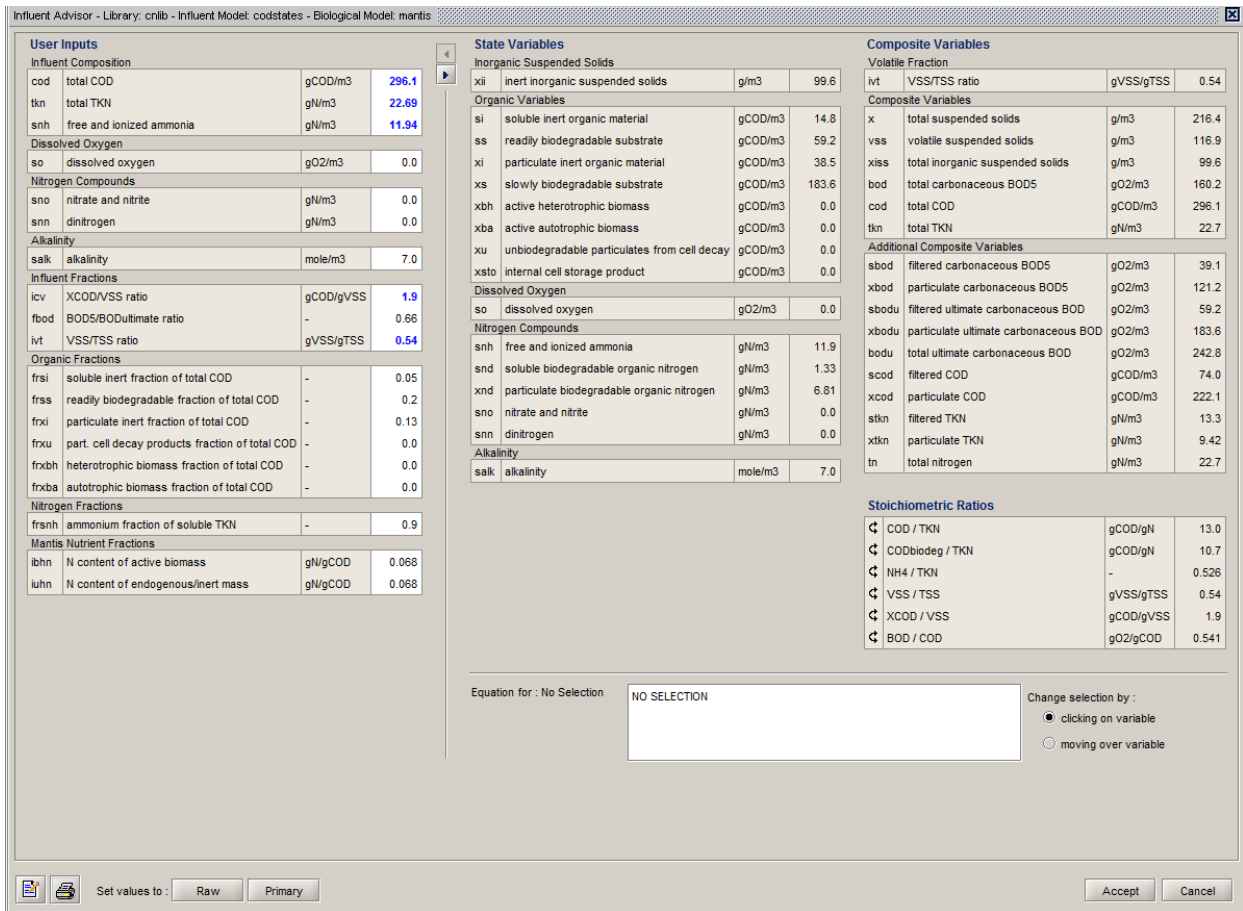
Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Estos números se muestran en azul en la Figura 2.2 y son los valores de entradas de usuario. Todas las otras entradas del usuario se mantienen con los valores por defecto, que han sido generados utilizando muchos datos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Representan características típicas del agua residual.

La Figura 2.2 también enseña los datos de salida del Influent Advisor. Como se muestra en la figura estos datos incluye las entradas de usuario, variables de estado, y variables compuestas. Las variables de estado y variables compuestas las calcula el modelo a partir de los valores de entrada del usuario. De existir irregularidades o anomalías en los datos de entrada, mensajes de advertencia aparecerían en la pantalla del ordenador para alertar a los usuarios de posibles errores. En el caso de que el error no pueda resolverse, esto indicaría de dificultades potenciales en la tratabilidad de las aguas residuales en estudio mediante tratamientos biológicos. Para los datos de agua residual afluyente de la ciudad de Cuenca, no se observaron mensajes de error en la modelación con Influent Advisor, lo que significa que es posible su tratamiento por procesos biológicos.

Figura 2.2: Cuadro de Resultados del Modelo Influent Advisor – GPS-X



De los resultados de la simulación de los valores del afluyente, se pueden hacer algunas observaciones sobre las relaciones calculadas en comparación con valores encontrados en la literatura científica. La tabla siguiente muestra un resumen de estos valores en comparación con rangos publicados en la literatura científica.

Tabla 2-17: Relaciones de Parámetros de Aguas Residuales

Relación	Promedio 2010 – 2016	Año 2015	Proyección 2050	Publicación de IWA
DQO/DBO ₅	298,2/1118 = 2,53 Influent Advisor = 1,85 (Calculado como DBO ₅ /DQO = 0,541)	333/144,3 = 2,31	494/220 = 2,25	1,5-2,0 (baja intensidad) 2,0-2,5 (mediana intensidad)
SSV/SST	0,53	0,52	0,51	0,4-0,6 (baja intensidad)
DQO/NTK	13,7	13,11	12,50	12-16 (alta intensidad)

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

De la tabla se desprende que:

1. La DQO/DBO₅ está en el rango bajo a medio de intensidad. Si la relación DQO/DBO₅ fuera alta, podría implicar que una parte sustancial de la materia orgánica sería difícil de degradar.
2. La SSV/SST se considera en el rango de baja intensidad, lo que implica que el proceso de digestión anaerobia resultaría en una menor producción de biogás.
3. La DQO/NTK se considera en el rango alto, lo que significa que no habría suficiente fuente de carbono para un proceso de desnitrificación, el cual no se anticipa como necesario para el caso del diseño de la PTAR Guangarcucho.

2.2.5 Conclusiones

- En base a los análisis mediante modelación computarizada, se puede concluir que los datos recogidos de aguas residuales para la ciudad de Cuenca caen dentro del rango de los residuos municipales típicos.
- No se anticipan problemas potenciales asociados con la capacidad de tratamiento biológico mediante el sistema de lodos activados.
- Los parámetros identificados por el modelo Influent Advisor servirán como punto de partida para el diseño del proceso de tratamiento biológico de la PTAR.

2.3 Confirmación de los requerimientos normativos

El propósito de esta actividad es confirmar que la información existente y la caracterización de las aguas residuales es suficiente para realizar previsiones o proyecciones dentro del período de diseño con el fin de garantizar que el efluente final del tratamiento cumpla con los requisitos y límites físicos, químicos y bacteriológicos de acuerdo a la normativa Nacional para descargas de aguas residuales a corrientes superficiales y que cumplan con los parámetros establecidos por ETAPA EP.

2.3.1 Afluente de la PTAR Guangarcucho

Con respecto a la caracterización de las aguas residuales, se tienen registros desde el inicio de funcionamiento de la planta de tratamiento Ucubamba, es decir, desde noviembre de 1999 hasta la actualidad. De la información relacionada con el funcionamiento de la PTAR de Ucubamba, la que tiene mayor utilidad para el diseño de la PTAR de Guangarcucho es la correspondiente a la calidad

del agua cruda, tomando en cuenta que, del caudal total que ahora llega hasta la PTAR Ucubamba, una parte será procesada en esta planta y la restante en la PTAR de Guangarcucho.

De la experiencia del Consorcio, el poseer un registro de la calidad del agua cruda de un período de dos años es bueno y permite el diseño de una PTAR; no obstante, para Guangarcucho se ha considerado la información de los últimos cinco años y medio que se dispone información, es decir, los datos de enero a diciembre de los años 2010, 2012, 2013, 2014 y 2015 y además, de los meses de enero a junio del año 2016. Se aclara que no se tienen los datos del año 2011 debido a que, en ese período, se realizaron adecuaciones en el sistema de tratamiento de lodos de la PTAR Ucubamba.

De acuerdo a los Términos de Referencia del estudio, ETAPA EP, presenta, con el carácter orientativo, los siguientes parámetros para el diseño de la PTAR Guangarcucho al año 2030. La Tabla 2-18 muestra la caracterización del agua residual cruda en base a proyectos anteriores.

Tabla 2-18: Caracterización del Agua Cruda, según Proyectos Anteriores

Parámetro	Unidad	Valor
Población equivalente	p.e.	367.000
Flujo promedio	L/s	1.200
Flujo máximo	m ³ /h	8.640
Carga DBO ₅	kg/día	16.856
N-Kjeldahl total	kg/día	2.074
P-carga total	kg/día	570
SST carga	kg/día	20.218
Coliformes en el influente	NMP/100 mL	5,1*10 ⁶
Temperatura mínima del agua	°C	14
Temperatura promedio del agua	°C	17,5
Temperatura máxima del agua	°C	23

Fuente: ETAPA EP, Términos de Referencia del estudio
Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Durante el transcurso de la presente consultoría, ETAPA EP, ha considerado al año 2050 como el horizonte del proyecto de la PTAR Guangarcucho, en concordancia con el resto de obras que se planifican como parte del Plan Maestro III Etapa.

El Consorcio de su parte, como resultado del análisis de la calidad del agua cruda realizado para los últimos cinco años que se dispone información y, por lo explicado en el numeral 2.2 Estudios de Tratabilidad, presenta en la Tabla 2-19 siguiente, los parámetros principales que caracterizan al agua del desecho y que servirán para el diseño de la PTAR Guangarcucho, con las concentraciones para el año 2015 y las proyectadas al año 2050.

Tabla 2-19: Caracterización del Agua Cruda; según el Consorcio

Parámetro	Unidad	Año	
		2015	2050
DBO ₅	mg/L	147	220
DQO	mg/L	330	494
SST	mg/L	200	296
SSV	mg/L	103,8	150
NTK	mg/L	25,4	39,5
P Total	mg/L	5,0	7,3

Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Según estos resultados, al inicio de funcionamiento de la PTAR funcionará con unas concentraciones similares a las del año 2015, al final del período de diseño con las concentraciones del año 2050 y, para los años intermedios, las concentraciones estarán comprendidas entre los valores del 2015 y los del 2050.

A estos resultados se suman los siguientes valores de la temperatura del agua residual cruda que ingresa a la PTAR Ucubamba, proporcionados de la base de datos de ETAPA EP:

Temperatura máxima	= 20 °C
Temperatura media	= 18 °C
Temperatura mínima	= 16 °C

2.3.2 Efluente de la PTAR Guangarcucho

Con respecto a la calidad del agua del efluente de la PTAR Guangarcucho, ETAPA EP, en los Términos de Referencia (TdR) y a título orientativo, presenta la Tabla 2-20.

Tabla 2-20: Parámetros del Efluente de la PTAR Guangarcucho, según TdR

Parámetro	Unidad	Valor
DBO ₅	mg/L	25
SST	mg/L	35
Coliformes	NMP/100 mL	40,000

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Durante el desarrollo del estudio ETAPA EP emite dos oficios relacionados con la calidad del efluente esperado en la PTAR Guangarcucho (Tabla 2-21), el último, señala que “El referente lo constituye lo determinado en el “Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria” y, habida cuenta que sí se dispone de un estudio de modelación del río Cuenca hasta su unión con río Burgay, para formar en el río Paute, se indican como valores guías que deberán ser comprobados por el modelo de calidad los siguientes:”.

Tabla 2-21: Calidad del Efluente de la PTAR Guangarcucho, según ETAPA EP

Elemento	Concentración	Observaciones
pH	6-9	
DBO ₅	25 mg/L	Valor reconsiderado
DQO	65 mg/L	Valor reconsiderado
SST	35 mg/L	
N Total	20 mg/L	Valor reconsiderado
P Total	5 mg/L	
Coliformes Fecales	1000 NMP/100 mL	

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El estudio de modelación del río no es una actividad del proyecto; no obstante, la Fiscalización, dispone de esa modelación y ha ofrecido realizar corridas de comprobación considerando la descarga de la PTAR Guangarcucho; adicionalmente ETAPA EP ha solicitado a la SENAGUA, la definición

de los usos del cuerpo receptor, aguas abajo del punto de descarga del efluente del tratamiento. Con los resultados de la simulación se podrán confirmar o modificar los parámetros del efluente definidos por ETAPA EP; sin embargo y en principio, con el sistema de tratamiento que se proponga será posible cumplir con lo exigido por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, que en la Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, presenta los siguientes límites para los parámetros definidos por ETAPA EP (Tabla 2-22).

Tabla 2-22: Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce, según TULSMA

Elemento	Unidad	Límite máximo permisible
pH		6-9
DBO ₅	mg/L	100
DQO	mg/L	200
SST	mg/L	130
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/L	50
Fósforo Total	mg/L	10
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	2000

Fuente: Tabla 9 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria
Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Como referencia adicional para el efluente de la PTAR Guangarcucho, se ha realizado el análisis de las características del efluente de la PTAR Ucubamba. Como parte del Anexo 2 se adjunta el detalle de este análisis y en la Tabla 2-22, un resumen de los promedios de los años: 2010, 2012, 2013, 2014y 2015.

Tabla 2-23: Características del Efluente de la PTAR Ucubamba

Año	Caudal (L/s)	DBO ₅ (mg/L)		DQO (mg/L)		SST (mg/L)	NKT (mg/L)	P Total (mg/L)	Col. Fecales NMP/100 mL
		Total	Soluble	Total	Soluble				
2010	1.178	26,62	6,34	99,10	45,10	33,69	22,17	3,01	7,95E+04
2012	1.361	22,29	5,53	69,37	32,78	30,81	21,21	2,06	1,05E+05
2013	1.537	26,76	6,19	78,40	39,04	38,53	22,83	2,09	6,19E+04
2014	1.571	25,39	6,16	84,57	43,46	36,43	22,92	3,72	6,77E+04
2015	1.575	30,92	7,63	104,43	50,11	40,27	25,55	2,45	1,06E+05

Fuente: ETAPA EP
Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Sección 3 DESARROLLO DE ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS

En el proyecto se han denominado como estudios complementarios a los siguientes: Levantamientos topográficos, Estudios de geología-geotecnia, Estudio ambiental y Evaluación del laboratorio de Ucubamba.

3.1 Ejecución de levantamientos topográficos

En principio y de acuerdo a los Pliegos de contratación del estudio, el área para la implantación de las obras es la que se muestra como Área 1 de la Figura 3.1. Posteriormente, ETAPA EP, comunicó al Consorcio que también es factible utilizar el terreno adicional que se muestra como Área 2 en la Figura 3.1.

En el desarrollo del estudio, el Consorcio propuso a ETAPA EP, que se analice la posibilidad de adquirir un nuevo terreno, contiguo al existente, propuesta que fue acogida de buena manera por ETAPA EP, ocupándose inmediatamente de los trámites para su compra. Este terreno es el Área 3 de la Figura 3.1.

En coordinación con la Administración del Proyecto, se ha previsto que, la parte norte del área inicial o Área 1, será utilizada para futuras intervenciones, además será de mucha utilidad durante el período de construcción, para instalar en ese lugar, por ejemplo los campamentos y talleres del Constructor, la planta para la fabricación de hormigón, y otros usos que se consideren y, de la Fiscalización, el laboratorio de suelos. Con estos antecedentes, el área que durante el presente estudio ha sido motivo de los trabajos topográficos a detalle es la que se muestra como Figura 3.2, en la que se podrá ver, que se ha considerado una franja adicional de 30 m alrededor del área utilizable, tal como lo definen los Términos de Referencia.

Una vez que se estableció el área para la ubicación de la PTAR, se iniciaron los trabajos topográficos, cuyo objetivo es proporcionar datos suficientes y precisos para realizar una adecuada implantación de las nuevas obras y enlazarlas con las ya existentes, para lo cual se han realizado las siguientes actividades:

- Recopilación de los hitos de partida.
- Definir una red de hitos de control mediante el empleo de antenas GNSS (Global Navigation Satellite System).
- Nivelación de la red de hitos de control.
- Levantamiento a detalle del área de implantación de la nueva PTAR.
- Generación de un modelo digital del terreno (MDT).

Figura 3-1: Áreas consideradas para el tratamiento

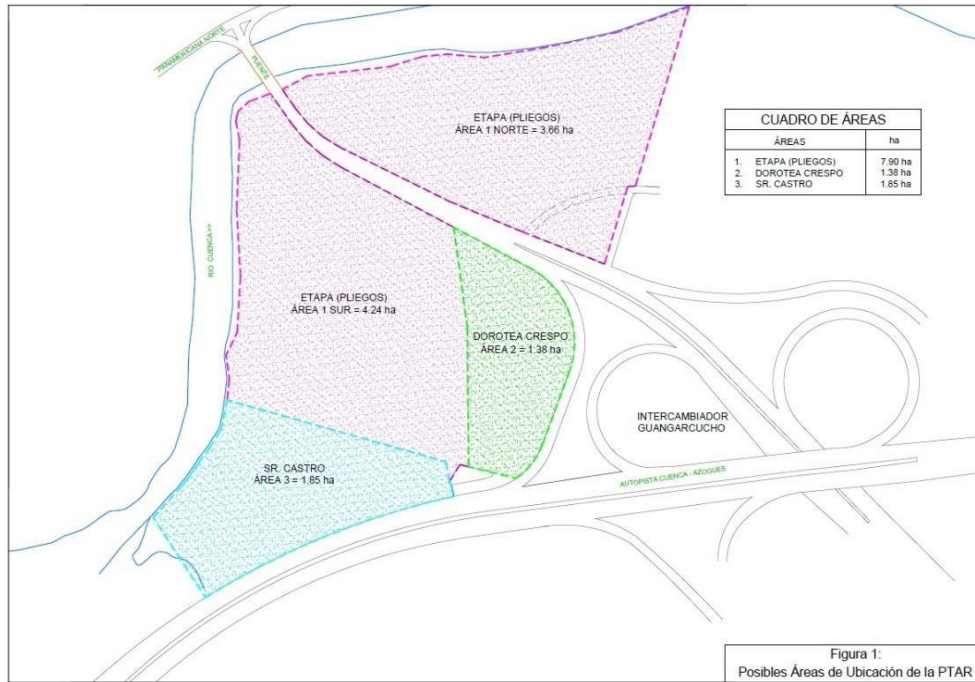
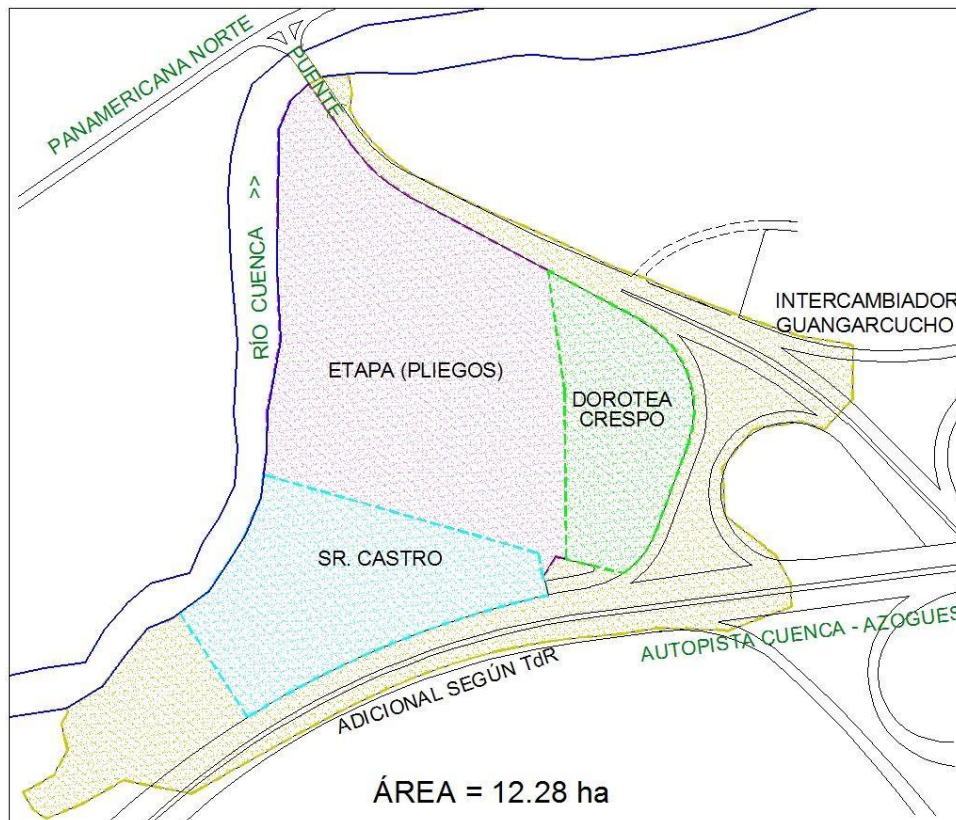


Figura 3-2: Áreas en las que se realizó el levantamiento topográfico



3.1.1 Coordenadas e hitos de control

Los levantamientos topográficos han sido enlazados al sistema UTM (Universal Transverse Mercator) DATUM WGS84, para lo cual se ha utilizado como punto de partida la placa entregada por ETAPA EP, C-10-03-0001, cuyas coordenadas se especifican en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Coordenadas UTM WGS84 del Punto de Partida

DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA GEOMÉTRICA (msnm)
C-10-03-0001	734.925,230	9'685.637,044	2.329,940
C-10-03-0002	734.843,335	9'685.733,198	2.329,695

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

La placa C-10-03-0002, también proporcionada por ETAPA EP, no ha sido utilizada para los levantamientos realizados. A partir de la placa C-10-03-0001 y con el uso de antenas GNSS se definieron 4 hitos de control horizontal (Ver Tabla 3-2). Los hitos se encuentran ubicados con visibilidad entre un par (salvo el hito PG-1, que se encuentra dentro de la Central Guangarcucho de ETAPA EP), de manera que los trabajos de replanteo también puedan realizarse con Estaciones Totales.

Posteriormente, con el uso de un nivel de ingeniero se procedió a la nivelación de estos hitos (con cierres cada 500 m) para que sirvan de control vertical. En la nivelación se verificó el cumplimiento del error máximo de cierre definido en las normas INEN (CPE INEN 5), dado por la siguiente expresión:

$$E = \pm 10 K^{0.5}$$

Donde,

E = Error máximo admisible en milímetros.

K = Número de kilómetros recorridos de ida y regreso.

Tabla 3-2: Coordenadas UTM WGS84 de los Hitos del Proyecto

DESCRIPCIÓN	ESTE	NORTE	COTA GEOMÉTRICA (msnm)
C-10-03-0001	734.925,230	9'685.637,044	2.329,940
PG-1	735.050,109	9'685.381,973	2.349,336
PG-3	734.933,455	9'685.516,418	2.331,164
PG-5	734.889,170	9'685.300,527	2.349,954
PG-6	734.815,932	9'685.261,068	2.348,638

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

En la figura siguiente se encuentra un esquema de la ubicación de la red de hitos de control horizontal y vertical del proyecto.

Figura 3-3: Ubicación de hitos del proyecto

En el Anexo 3.1 se presentan las fichas topográficas del hito de partida y de los hitos de control colocados en el presente proyecto, mientras que en el Anexo 3.2 están las libretas de nivelación.

En caso de que los replanteos de los hitos y de las obras se realicen con estación total, se definió un factor de escala con un valor de 0,99987.

3.1.2 Levantamiento topográfico

EQUIPOS TOPOGRÁFICOS UTILIZADOS

- 2 Estaciones Totales, modelo M3, marca Trimble.
- 2 GPS GNSS, modelo R8, marca Trimble.
- 1 Nivel de Ingeniero.

TRABAJOS DE CAMPO

Los levantamientos topográficos se realizaron con Estación Total y con Antenas GNSS mediante la técnica RTK (Real Time Kinematic), tomando como base los diferentes hitos colocados en el proyecto, que fueron especificados en el numeral 3.1.1 de este informe. Por otra parte, todas las estaciones intermedias para el avance con la Estación Total fueron definidas con las antenas GNSS.

Para cada punto levantado, se registró sus coordenadas Este y Norte, así como su respectiva cota referida al nivel del mar.

Se realizó el levantamiento a detalle del área requerida para la implantación de la nueva PTAR de Guangarcucho, más una franja aproximada de 50 metros alrededor de dichos predios. Se colocaron 4 hitos de hormigón (control horizontal y vertical), debidamente georreferenciados, que servirán para el replanteo de las obras a construirse.

Adicionalmente, se levantaron detalles topográficos de interés que pudieran existir, tales como: bordes de vías existentes, terraplenes, puentes, postes de luz, casas, alcantarillas, etc.

TRABAJOS DE OFICINA

Se procedió a validar la información obtenida en campo, comprobando que los datos levantados se encuentren dentro de las tolerancias definidas para este tipo de trabajos. Los cálculos y dibujos fueron realizados con la ayuda de herramientas informáticas basadas en Hojas de Cálculo y sistemas CAD (Computer Aided Design), las mismas que ofrecen una gran facilidad y precisión en su procesamiento.

Al disponer de los datos de ubicación y cota de cada uno de los puntos levantados se pudo generar un modelo tridimensional del terreno, representado a través de curvas de nivel cada metro, que reflejen en los planos la topografía levantada. En el Anexo 3 se presenta el detalle de los puntos levantados (Nube de puntos) con la información de las coordenadas X, Y, y cota, y además la descripción de cada punto, en tanto que, en el Anexo 3.4 se ha colocado el esquema del levantamiento topográfico realizado.

Dentro del dibujo de la planimetría se han representado los detalles levantados de tal manera que se definan clara y precisamente todas las características del terreno existente.

3.2 Ejecución de estudios geológicos y geotécnicos

Los estudios geológicos-geotécnicos que se desplegaron en las dos fases del estudio tienen como objetivo principal el analizar y estudiar la estabilidad de los diferentes componentes de ingeniería del sistema, en relación con el comportamiento mecánico de los suelos o rocas, determinando los parámetros de suelo necesarios para el diseño estructural de las obras.

En este sentido, durante la Fase I, los estudios geológicos-geotécnicos contemplaron las siguientes actividades:

- Recorridos por los sitios de obras con la finalidad de inspeccionar los tipos de formaciones geológicas y de suelos, así como de establecer el tipo de exploración geotécnica a realizar.
- Investigación geológica-geotécnica, por medio de exploración indirecta y directa (a través de calicatas), así como con la realización de análisis de laboratorio, con el objeto de determinar propiedades del subsuelo.
- Determinación de las recomendaciones para la siguiente etapa de los estudios.

Para la Fase II, una vez que se definió la ubicación de las obras de la PTAR, se presentó a ETAPA EP y Fiscalización un programa de exploración directa por medio de perforaciones, parte de las cuales estaban previstas en el contrato principal, a las que se sumaron las nuevas perforaciones del contrato complementario. Las perforaciones fueron realizadas y se tomaron muestras del suelo obtenido en cada perforación para el análisis de laboratorio correspondiente. En base a los trabajos de campo realizados durante la Fase I y Fase II, y a los análisis correspondientes, al final del estudio se

establecen las recomendaciones para la cimentación de las estructuras, así como para los taludes y pavimentos requeridos para la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho.

3.2.1 Exploración Directa e Indirecta

Para garantizar una exploración geotécnica adecuada y la selección de parámetros geotécnicos representativos para el diseño, en coordinación con la Administración y la Fiscalización del Proyecto, se estableció la realización de la exploración geofísica cuyos resultados se presentan en el Apéndice 6 de la sección Estudio Geológico – Geotécnico de Fase I, del Anexo 4; y posteriormente, la ejecución de perforaciones en los sitios de implantación de las principales obras.

Figura 3-4: Esquema de ubicación de geofísica y perforaciones realizadas



En la Figura 3-4 se presenta un esquema que muestra la exploración geofísica-geotécnica efectuada y en la Tabla 3-3 las coordenadas de ubicación y la profundidad de las 10 perforaciones realizadas. La campaña de investigación geofísica, consistió en la realización de 6 líneas de 110 m cada una para la determinación de la onda Vs y además de tres líneas de 110 m para tomografía eléctrica.

Tabla 3-3: Ubicación y profundidad de perforaciones realizadas

Perforación	Este	Norte	Cota	Profundidad (m)	Ubicación
P2	734877,42	9685348,77	2351,323	12	Sedimentación primaria
P5	734974,63	9685479,14	2335,117	13	Reactor biológico
P8	735042,34	9685529,31	2325,521	10	Sedimentación secundaria
P9	735010,47	9685486,44	2329,310	15,2	
P10	735059,13	9685450,13	2332,208	15	
P11	735092,77	9685493,83	2327,292	10,5	Digestores
P14	734916,42	9685540,18	2327,252	16,5	
P15	734925,47	9685575,81	2325,585	20	
P16	734961,60	9685567,77	2326,617	21,3	
P17	734953,62	9685534,32	2327,754	20	

3.2.2 Geología

Los estudios geológicos del proyecto cumplen con los siguientes objetivos:

- Descripción general de la geología existente en el área de estudio establecida.
- Determinación de las características geológicas, litología, estructura de las rocas y cualidades físico-mecánicas visuales de los materiales aflorantes.
- Identificar estructuras geológicas como fallas, diaclasas y fisuras relacionadas con los taludes y la estabilidad de la zona.
- Presentar recomendaciones, en función de los materiales encontrados y sus posibles variaciones.
- Determinar tramos problemáticos dentro del área, para estudiarlos a detalle como sitios críticos.

Con la información de estudios anteriores, las visitas de campo al sitio previsto para las obras, y los trabajos de campo de geofísica y calicatas realizados en el presente estudio ha sido posible determinar la geomorfología de la zona, la estratigrafía y sedimentología en las cuencas, los sistemas estructurales, la geología regional y la geología local.

Como Anexo 4 del Informe de Fase I fue presentado el estudio geológico, del cual, en los siguientes párrafos, se exponen las partes más importantes.

Durante el trabajo de campo se determinó que las litologías que afloran en el área corresponden a procesos magmáticos del SE con influencia del SO del Valle Interandino, tanto intrusivos como volcánicos y facies sedimentarias, tanto continentales como marinas, que se describen en las siguientes litologías.

COLUVIALES (Dc)

Depósitos de ladera y de pie de talud con materiales que han sufrido poco transporte, son muy heterogéneos dependiendo de la zona y el fenómeno inestable que les dio origen: deslizamientos, derrumbes, flujos, etc. En este caso particular está formado por areniscas tobáceas de grano fino a grueso y localmente conglomerados de la Fm. Azogues.

DEPÓSITOS ALUVIALES RECIENTES (Da)

Depósitos recientes, material transportado y depositado por los ríos, el cual forma parte de las llanuras de inundación. Están compuestos por bloques, gravas y arenas limosas en diferentes porcentajes y composición, sus formas van de redondeadas a sub angulares debido a la dinámica y morfología del curso fluvial, así como a la acción glacial.

Se podría considerar como depósitos aluviales los sedimentos producto de la formación de un lago remanente, que fue formado por represamiento de los ríos Paute, Jadán y Burgay en marzo de 1993.

Los sedimentos finos encontrados en las calicatas se los puede considerar como producto de tres orígenes, la sedimentación de volcanos sedimentos producto de eventos volcánicos de la Formación Llacao y Turi, sedimentos que fueron transportados por corrientes superficiales hacia las partes bajas y por el aporte de sedimentos de la laguna artificial de la Josefina que han rellenando la topografía existente en ese momento, por lo que las potencias de estos sedimentos son variables de acuerdo a la superficie rellenada, pero de las investigaciones realizadas se podría indicar que la mayor cantidad de sedimentos correspondería a volcanos sedimentos.

El material fino también sería resultado de sedimentos tobáceos depositados en un medio de baja energía; la consistencia dura que adquiere en medio seco es por la propiedad cementante que tiene la toba. Este material tobáceo es de baja permeabilidad y por lo general se presenta seca o con una humedad natural baja. Estos sedimentos bajo el nivel freático podrían saturarse y tener una baja resistencia al corte.

FORMACIÓN AZOGUES (MioMAz)

Según el Informe Precupa (1998) y el Léxico Estratigráfico (Duque, 2000) fue nombrada por primera vez por Wolf en 1892 bajo el nombre “Areniscas de Azogues” para toda la cuenca sedimentaria de Cuenca. Redefinida sucesivamente hasta 1957 que Erazo da la descripción actual. Últimas dataciones por Steinmann en 1996.

Está constituida por una secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso, café amarillentas, con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados.

En la zona de estudio está presente a lo largo de toda la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues. Grandes cortes en areniscas de la Fm. Azogues se ven en la nueva autopista y la Panamericana antigua Cuenca – Azogues.

CORTES GEOLÓGICOS

El estudio geológico-geotécnico ha sido dispuesto como Anexo 4 de este informe, dentro del cual, en el Apéndice 6 del Estudio Geológico-Geotécnico de Fase I, se muestran 8 cortes geológicos que se han elaborado tomando en cuenta la exploración geofísica y geotécnica realizada, considerando incluso la realizada mediante tres calicatas dentro de la segunda fase de estudios, según la ubicación que se muestra en la planta que se incluye en ese mismo Apéndice.

3.2.3 Perforaciones, Ensayos de Campo y Laboratorio

En la Figura 3-1 se muestra la ubicación de las 10 perforaciones realizadas, previa coordinación y autorización de la Administración y Fiscalización del Proyecto.

Las muestras de suelos cohesivos de consistencia blanda a media dura pueden ser obtenidas con tubos de pared delgada, mientras que muestras de esos suelos con consistencias duras así como de suelos granulares pueden ser obtenidas con el toma-muestras de cuchara partida, efectuando el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), cuyos resultados guardan una correlación bastante confiable con el ángulo de fricción interno de los suelos granulares (suelos arenosos) y menos confiable con la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos cohesivos.

Se efectuaron ensayos de humedad, granulometría, límite líquido y límite plástico en cada una de las muestras obtenidas en las perforaciones realizadas. Los resultados de todos los ensayos mencionados, así como de los registros de campo se muestran en el Anexo 4, Apéndice 2 del Estudio Geológico-Geotécnico de Fase II.

3.2.4 Análisis Realizados

En función de los trabajos de campo y laboratorio realizados, los análisis geotécnicos tienen la finalidad de establecer las recomendaciones para las cimentaciones de las estructuras que formarán parte la PTAR Guangarcucho, considerando que las cimentaciones deben soportar con seguridad suficiente las cargas impuestas, a más de sufrir deformaciones limitadas, de manera tal que estos efectos no sobrepasen los límites admisibles sugeridos por varias guías de cimentaciones o códigos de construcción.

En este sentido, el procedimiento general para la comprobación de la seguridad de la cimentación se basa en el concepto de los estados límite, los cuales son de dos tipos: Estados Límite Últimos y Estados Límite de Servicio. Con respecto al Estado Límite Último o Estado Límite de Falla, se ha determinado la Capacidad de Carga Última y la Capacidad de Carga Admisible. Para el Estado Límite de Servicio se calcularon los asentamientos elásticos o inmediatos, los asentamientos por consolidación y los asentamientos permisibles. En el Anexo 4, Apéndices 3 y 4 del Estudio Geológico-Geotécnico de Fase II, se encuentra el detalle de los cálculos señalados.

En Anexo 4, Apéndices 4 y 5 del Estudio Geológico-Geotécnico de Fase II, se realiza, respectivamente, el análisis de la capacidad de carga y asentamientos para cimentaciones superficiales y para cimentaciones profundas. También se ha efectuado un estudio de los taludes que se tendrán en el proyecto, analizando su estabilidad y las medidas de protección superficial y de aumento de seguridad frente a roturas superficiales (Ver Anexo 4, Apéndices 6 y 7 del Estudio Geológico-Geotécnico de Fase II). Finalmente, en el Informe Geotécnico se realiza el Dimensionamiento del Pavimento para las vías internas de la PTAR Guangarcucho.

3.2.5 Conclusiones y Recomendaciones

RESPECTO A CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMAS

Se considera que la ejecución del proyecto iniciará, en función de la organización del constructor y de la situación del proyecto en ese momento, con la construcción de las cimentaciones de las estructuras principales o con la construcción de las plataformas que alojarían, como estructuras principales, a los sedimentadores primarios en la parte alta y a los sedimentadores secundarios y digestores en la parte baja.

Para la plataforma que alojaría a los sedimentadores primarios se requerirá realizar una excavación a cielo abierto. Se ha considerado que el material procedente de esa excavación podría ser utilizado primordialmente en la construcción de la plataforma que alojaría a los sedimentadores secundarios y digestores en la parte baja. Según lo indicado en este informe, dicho material se calificaría como “Seleccionado” o “Adecuado” para la conformación de terraplenes, sin embargo, sería recomendable que durante la construcción se verifique la bondad de este material por la heterogeneidad que podría presentar.

La aplicación de la segunda de las alternativas mencionadas en el primer párrafo de este apartado podría implicar, en algunos casos, que luego de realizado un terraplén, éste tendría que ser excavado y luego vuelto a rellenar. En todo caso, la decisión de qué ejecutar primero, o la cimentación de las estructuras principales o la construcción de terraplenes en la parte baja, dependerá de la organización del constructor y de la realidad del proyecto en ese momento. En todo caso, debe quedar muy claro que no se deberá proceder a efectuar terraplén alguno sin antes obtener la aprobación de la Fiscalización, tanto en lo que tiene que ver con los materiales a utilizar para la conformación de los terraplenes, como con la metodología constructiva. A continuación se presenta, a manera de guía, el procedimiento constructivo que se podría adoptar para la construcción de los terraplenes en el proyecto.

Procedimiento Constructivo Tentativo para Terraplenes

Previamente a la construcción de los terraplenes, el terreno sobre el cual éstos se asentarán deberá haber sido desmontado, descapotado, desbrozado y escarificado.

Donde sea el caso, la capa vegetal removida será acumulada y desalojada del lugar en forma adecuada. Se ha establecido un espesor promedio de capa vegetal del orden de los 30 cm.

Todo el material extraído de las excavaciones que no será reutilizado, será transportado al botadero o a sitios adecuados para su disposición final, o será utilizado preferentemente como relleno en cualquier otra parte, siempre con la aprobación de la Fiscalización.

El material utilizado para terraplenes deberá estar libre de troncos, ramas, materia orgánica y de bloques pétreos de dimensiones mayores a 0,10 m y ser de las características de resistencia e impermeabilidad indicadas en los planos. Al efecto, la Fiscalización aprobará previamente los bancos de préstamos cuyo material vaya a ser utilizado para este fin.

Todo el material transportado desde las zonas de excavación y que sea reutilizable, se colocará en los terraplenes, en capas horizontales cuyos espesores dependerán del tipo y peso del equipo de compactación que se use. Tentativamente, se establece que deberán colocarse capas de hasta 20 cm máximo, para que una vez compactadas, alcancen los 15 cm, pero en último caso serán terraplenes de prueba los que determinen las características mecánicas de los equipos de compactación, el espesor óptimo de las capas, el número de pasadas y las humedades que se deben suministrar al material.

Para la adecuada reconformación en tierra de los taludes de los terraplenes y para asegurar que sus espaldones sean bien compactados se dejará un sobrecancho de por lo menos 80 cm. Cuando la compactación haya sido aprobada por la Fiscalización, se procederá a retirar ese sobre-ancho.

Con el fin de sistematizar y optimizar el proceso de relleno, y donde las áreas de colocación, a juicio de la Fiscalización, sean suficientes como para aceptar una zonificación del trabajo, éste se dividirá en franjas de anchos adecuados, de tal manera de que cuando se prepare para la colocación en una franja, en otra se coloque el material, en otra se compacte y en otra se tomen muestras para el control de calidad de compactación. Dicha zonificación deberá ser mostrada en el terreno mediante la colocación de pequeñas estacas pintadas con colores vivos; los equipos, a su vez, deberán ser guiados por personal debidamente adiestrado.

La última capa compactada no deberá contener, en ningún caso, rocas o piedras que puedan ser retenidas por el tamiz de 10 cm de abertura.

Durante la construcción y hasta la entrega definitiva, el nivel al cual se ha llegado en rasantes, taludes, fondos de canales, vías e instalaciones en general deberá ser conservado y protegidos para evitar su erosión y destrucción. El Contratista será responsable por el mantenimiento de la rasante y serán de su cuenta las reparaciones de daños causados por el tráfico y otros agentes hasta la recepción definitiva.

Se hace hincapié en el hecho de que tanto las labores de selección de materiales, como de relleno y control de calidad, exigen la presencia permanente (por parte del Contratista) de un Ingeniero Geotécnico de reconocida solvencia y con, por lo menos, 5 años de experiencia en labores afines.

El control de la colocación de las capas en el campo se centraliza en la verificación del espesor de la capa, la humedad y la compactación, para lo cual se calculará previamente el número de unidades de transporte que sea necesario utilizar para obtener el volumen de la capa, complementada con la nivelación topográfica continua de capa. Personal especialmente destinado para el efecto, deberá controlar el número de unidades que deben descargar en las fajas previamente establecidas en el terraplén.

La colocación de las capas, en las áreas cercanas al río, deberá hacerse en sentido paralelo a él, con el objeto de no crear continuidad entre capas, evitando así la formación de líneas de paso rápido que pueden causar pérdidas de agua a través del relleno; se colocarán las diferentes capas de una misma camada a diferentes niveles con el fin de evitar dicha continuidad.

Debido a que las características de los materiales en estado natural no son siempre homogéneas, deberá procurarse que los materiales más finos sean colocados hacia el centro de la sección y los más gruesos hacia el exterior. Esto se facilita mediante la selección previa en el préstamo (zona de excavación) dirigiendo al equipo de transporte de modo que vacíen el material en el sitio que corresponde.

Una vez que el material ha sido colocado y debidamente humedecido, se comenzará el proceso de compactación, el cual consiste en el paso de rodillos sobre la capa de material debidamente colocada el número de veces que se hayan determinado en los terraplenes de densidad deseada. El paso del rodillo debe ser continuo y uniforme a lo largo de la faja, debiendo solapar un mínimo de 50 cm la faja adyacente. Cada vez que se coloque una nueva capa deberá escarificarse superficialmente la capa anterior, para lograr una buena unión entre capas ayudando, de paso, el trabajo de pasada del rodillo compactador; esta operación no se efectuará cuando se trate de materiales gruesos, gravas y arenas, a menos que la Fiscalización especifique lo contrario. Estos suelos podrán, previa la autorización de la Fiscalización, ser compactados con rodillos lisos.

En caso de que se usen rodillos pata de cabra, la compactación deberá detenerse cuando las patas del rodillo ya no penetren el material, es decir, cuando el rodillo casi "camine" sobre el terraplén al final del número de pasadas establecido. El material debe quedar homogéneo, sin concentraciones de finos o de gruesos, sin terrones ni agrietamientos y sin mostrar signos de sobre-compactación, manifestados por la aparición de un laminado en el material fino, o sea pequeñas laminas similares a unas "mil hojas", fenómeno causado por exceso de energía que destruye la estructura interna de los materiales con alto contenido de finos, comunicándoles una densidad baja y gran permeabilidad.

Para el caso de compactación manual, ésta se efectuará mediante el uso de equipo neumático o a gasolina (vibro-compactadores), en capas debidamente humedecidas de 7 a 10 cm de espesor antes de compactar.

Los ensayos de campo y laboratorio serán efectuados por el Contratista bajo la supervisión de la Fiscalización.

Los materiales que no cumplan los requerimientos de humedad y de densidad, deberán ser reacondicionados hasta que los requisitos se cumplan y/o hasta que la Fiscalización de su aprobación.

Todo el material del relleno será compactado hasta conseguir porcentajes superiores al 95% de la máxima densidad seca con la humedad óptima, calculada según el ensayo Próctor Modificado (AASHTO T 180).

La Fiscalización controlará, tan frecuentemente como lo juzgue conveniente, el contenido de humedad del material a compactar mediante ensayos de campo y en laboratorio, esto con el fin de lograr una distribución uniforme y óptima. Todo material que no se encuentre dentro de los límites de tolerancia determinados en los terraplenes de prueba, será rechazado por la Fiscalización y deberá ser reacondicionado.

Será responsabilidad del Contratista el abastecimiento y distribución del agua necesaria para la ejecución de los trabajos de humedecimiento y compactación. Correrán por cuenta y costo del Contratista todos los materiales, mano de obra, equipos y cualquier actividad que directa o indirectamente se requieran para la ejecución de trabajos adicionales causados por retrasos o falta en el aprovisionamiento del agua.

Toda capa compactada deberá presentar una superficie limpia, uniforme y libre de ondulaciones. Para el caso de la conformación de los terraplenes y para asegurar que sus espaldones sean bien compactados se dejará un sobre-ancho de por lo menos 80 cm. Cuando la compactación de la capa haya sido aprobada por la Fiscalización, se procederá a retirar dicho sobre-ancho.

La terminación de todos los taludes será de modo que queden razonablemente lisos y uniformes, en concordancia con las líneas y pendientes señaladas en los planos correspondientes.

El perfilado de taludes existentes se realizará con equipos o herramientas que permitan la obtención de taludes lisos y uniformes, cuidando que en ningún punto se tengan variaciones respecto al plano en más de 15 cm, medidos en forma perpendicular al plano del talud.

RESPECTO A LOS TALUDES

Se ha establecido un talud, para el desnivel que quedaría entre la plataforma de los sedimentadores primarios y los reactores biológicos con una inclinación 1H:1V y con una terraza o berma intermedia. Se han realizado análisis de estabilidad mediante el programa Slide, utilizando el método de

Morgenstern-Price, con los que se ha visto que los factores de seguridad son adecuados tanto para condiciones estáticas como para dinámicas.

Se recalca la importancia de la disposición de la terraza o berma intermedia indicada en el párrafo anterior, por su doble función:

- Recoger el agua de lluvia que escurre sobre el talud, no permitiendo que llegue al pie del talud de la plataforma inferior con una fuerza erosiva mayor.
- Permitir la construcción, la reparación y el mantenimiento del talud al facilitar el acceso de maquinaria.

Para la construcción de las cimentaciones de las estructuras será necesario realizar excavaciones temporales a cielo abierto, las cuales se realizarían, bien sea luego de terminados los terraplenes o antes de construcción, pero antes de realizar las excavaciones para la instalación de tuberías de conexión profundas entre las diferentes estructuras. También se han realizado análisis de estabilidad mediante el programa Slide, utilizando el método de Morgenstern-Price, con los que se ha determinado que con la inclinación de 0,75H:1V en todos los casos y de 1,5H:1V en el talud que está al pie del punto más alto del acceso a la vía rápida Cuenca-Azogues, los factores de seguridad obtenidos serían adecuados.

Se recomienda la protección de los taludes permanentes contra la erosión hídrica mediante la instalación de mantos permanentes tales como el PET Tipo TRM 50 o similar, y la revegetación de los taludes con especies nativas variadas. El establecimiento de la vegetación se podrá hacer de manera combinada mediante aplicación de mezcla fértil, semillas sobre el talud, siembra de plantas, siembra de bloques de césped, siembra de especies de mayor porte por trasplante o por siembra de estolones que crezcan en la zona, según recomiende el equipo ambiental de la Asociación Consultora, que ha establecido que las especies más recomendadas para su uso en el proyecto serían el kikuyo, sigal y retamas.

También se recomienda la incorporación de elementos cortaflujos, disipadores de energía, los cuales generarían un anclaje continuo del manto en una línea horizontal, funcionando como elementos disipadores de energía, controlando el flujo concentrado y reteniendo partículas de suelo que puedan desprenderse del talud.

RESPECTO A LAS CIMENTACIONES

Los materiales de cimentación de las estructuras que constituirían la PTAR de Guangarcucho son adecuados desde el punto de vista de capacidad de carga por lo que se pudiera recurrir a cimentaciones superficiales para todas las estructuras; sin embargo, por las cargas altas que tendrían en el tanque de almacenamiento de lodos y en los digestores y, en menor grado en los sedimentadores secundarios, en estas estructuras se presentarían asentamientos que para el caso de los digestores y tanque de almacenamiento de lodos han sido definidos como intolerables por el equipo hidráulico del Consorcio por lo que, en el estudio geotécnico, se recomienda que la cimentación de dichas estructuras se realice mediante pilotes pre-barrenados, con lo que, se obtendrían asentamientos del orden de los milímetros. Los resultados del estudio geotécnico fueron presentados al especialista estructural a fin de que decida el tipo de cimentación a realizar para las estructuras de los digestores y tanque de almacenamiento de lodos ya sea acogiendo la recomendación de pilotes u otro sistema que considere adecuado como por ejemplo, la construcción, para cada estructura, de un cilindro profundo con zapata. Finalmente se decidió por una cimentación, para cada digestor y para el tanque de almacenamiento de biosólidos, por medio de columnas profundas que lleguen al estrato resistente de

las areniscas de la Formación Azogues, por considerarse técnicamente viable y de menor costo que el pilotaje. Para el caso de los sedimentadores secundarios también se ha realizado el análisis considerando pilotes pre-barrenados; no obstante, los asentamientos son menores por lo que, luego del estudio correspondiente, en el diseño estructural no se ha considerado este tipo de cimentación.

En el apartado 7 del Informe geológico-geotécnico de Fase II (Anexo 4) se presentan los detalles y cálculos realizados para las cimentaciones, incluyendo lo relativo a los pilotes pre-barrenados para los sedimentadores secundarios, los digestores y el tanque de almacenamiento de lodos.

Se hace hincapié en el hecho de que la construcción de las cimentaciones requerirá de un seguimiento y control de calidad que exigen la presencia permanente (por parte del Contratista) de un Ingeniero Geotécnico de reconocida solvencia y con, por lo menos, 5 años de experiencia en labores afines.

RESPECTO A PAVIMENTOS

Con la información disponible se ha determinado que el pavimento que se requeriría en la PTAR Guangarcucho debería estar conformado por una carpeta asfáltica de 5 cm de espesor, 15 cm de base granular y 15 cm de subbase granular, al considerarse que se tuviera una subrasante conformada por los materiales areno-limosos o gravo-limosos que resultarían de la excavación requerida para conformar la plataforma que alojará a los sedimentadores primarios.

Se recomienda una adecuada implementación de sistemas de drenaje y subdrenaje, que contribuirían a la estabilidad de la vía y de la estructura del pavimento, especialmente en las épocas invernales.

Toda estructura de pavimento requiere necesariamente un mantenimiento rutinario anual, que incluya, entre otras cosas, actividades de tratamiento de fisuras, parchados, limpiezas y reparación de las obras de drenaje y obras de arte en general, así como un tratamiento periódico de sello asfáltico cada 3 a 5 años. Como resultado de la realización de evaluaciones periódicas de la condición superficial (inventario de fallas, rugosidad, textura, etc.) y estructural (deflexiones) del pavimento, según sea necesario, se aplicará una capa nivelante o adicionalmente un refuerzo asfáltico, dependiendo de su capacidad de soporte remanente y del crecimiento del tránsito.

3.3 Estudios de impacto ambiental

3.3.1 Introducción

De conformidad a la categorización establecida por el Ministerio del Ambiente del Ecuador MAE, y que consta en el Sistema Único de Información Ambiental SUIA, en el presente proyecto de diseño de una planta de tratamiento de aguas servidas, para un caudal de 1.200 L/s ó 103.680 m³/día; es decir, mayor a 5.000 m³/día, se necesita realizar un Estudio de Impacto Ambiental y obtener la Licencia Ambiental.

Descripción de la actividad	CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (INCLUYE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO)
Su trámite corresponde a un(a)	LICENCIA AMBIENTAL
Tiempo de emisión	Se ajusta al proceso de análisis de revisión de la información ingresada dentro de los parámetros de la normativa ambiental vigente, debiendo realizar un proceso de Participación social.
Costo del trámite	Varía en base al costo del proyecto, el pago de facilitadores y si existe remoción de cobertura vegetal nativa.

A finales de noviembre de 2016, se ingresó la información del proyecto a la plataforma del Ministerio del Ambiente, MAE, con lo cual fue posible descargarse: el Certificado de Intersección, el Mapa del Certificado de Intersección y los Términos de Referencia, con los que se ha ejecutado el Estudio Ambiental del Proyecto.

El estudio ambiental en detalle se encuentra en el Anexo 5 del Informe Final, en tanto que, enseguida se resumen las actividades realizadas dentro de este estudio.

3.3.2 Actividades realizadas

Las principales actividades realizadas dentro del estudio ambiental son:

- Elaboración de la ficha técnica, Identificación del alcance y objetivos del estudio de impacto ambiental, Definición del marco legal e institucional aplicable al proyecto y Definición del área de estudio.
- Determinación de la línea base ambiental.
- Descripción del proyecto.
- Descripción de las alternativas técnicas analizadas.
- Determinación del área de influencia.
- Inventario Forestal.
- Identificación, evaluación y valoración de impactos ambientales.
- Análisis de riesgos.
- Protocolos de prueba.
- Plan de manejo ambiental.
- Entrega del borrador del estudio al MAE.
- Proceso de participación ciudadana.
- Correcciones y preparación del Informe Final.
- Colaboración en la obtención de la Licencia Ambiental.

3.3.2.1 Elaboración de la ficha técnica, Identificación del alcance y objetivos del estudio de impacto ambiental, Definición del marco legal e institucional aplicable al proyecto

Ficha Técnica

En la ficha técnica se definen:

- Los datos del proyecto como: Nombre, Código (Proporcionado por el MAE), Proponente (ETAPA EP) y el Ente responsable (MAE, Zona 6).
- La ubicación geográfica.
- El detalle del proyecto: Sector, superficie, altitud.
- El plano de implementación.
- Identificación del consultor calificado responsable de los estudios.

- Identificación del equipo consultor que elabora los estudios.
- Finalmente se tiene la cláusula de responsabilidad, de parte del Proponente (Gerente ETAPA EP).

Identificación del Alcance y Objetivos del Estudio Ambiental

El alcance para el desarrollo del Estudio de Impacto Ambiental para la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho, se centra en cubrir todas las fases del ciclo de vida del proyecto (Construcción, Operación – Mantenimiento y Cierre - Abandono).

El objetivo general del estudio ambiental es dar cumplimiento a lo establecido en la Normativa Ambiental aplicable. Elaborar el Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental enmarcado en la legislación ambiental vigente y demás leyes aplicables al estudio.

Los objetivos específicos se refieren a la metodología, los procedimientos y los productos esperados hasta llegar a formular el Plan de Manejo Ambiental.

Marco Legal e Institucional

En esta parte del estudio se define la normativa aplicable al estudio y a las instituciones que están relacionadas con el proyecto: MAE, ETAPA EP, GAD Municipal de Cuenca, SENAGUA, IESS, GAD parroquial de Nulti, GAD parroquial de Llaoca, EMAC EP.

Definición del área de estudio

Se localiza al sitio en el que se ubicará la planta de tratamiento, reconociendo que pertenece a la parroquia de Nulti, cantón Cuenca, provincia del Azuay. Se determina además que el proyecto no interseca con el sistema nacional de áreas protegidas (SNAP), Patrimonio forestal del Estado (PFE) bosques y vegetación protectora (BVP).

3.3.2.2 Determinación de la línea base ambiental

Dentro de esta actividad se realiza la caracterización o identificación de:

- El medio físico en aspectos relacionados con: Recurso agua; climatología; recurso suelo; recurso aire; análisis del paisaje de la zona de implantación de la planta.
- El componente biótico, analizando: El área de estudio biológico; la clasificación de ecosistemas; comprobación de que el sitio del estudio no se encuentra dentro de las Áreas de Bosque de Vegetación Protectoras del Ecuador, y que está fuera del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, SNAP; Uso de suelos y cobertura de suelos; Componente Flora; Componente Fauna; Integridad ecológica del río Cuenca; Análisis de áreas sensibles.
- El componente socioeconómico y cultural.
- Sitios contaminados y fuentes de contaminación en la zona del estudio.

3.3.2.3 Descripción del proyecto

En esta sección del estudio ambiental, se efectúa la descripción del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho, por medio de:

- La ubicación del proyecto.
- Definición de las características técnicas del proyecto: Caudal de tratamiento; Parámetros de diseño; Requerimientos de la calidad del agua efluente; Configuración de la planta con la descripción de sus componentes.
- Los caminos de acceso para llegar al sitio de ubicación de la PTAR.
- La descripción de las actividades a ejecutarse de acuerdo a las fases del proyecto: construcción, funcionamiento y cierre.
- Los insumos requeridos para la construcción del proyecto y su funcionamiento.
- Los equipos y maquinaria requeridos para la fase de construcción.
- El ciclo de vida del proyecto.
- La mano de obra requerida para las etapas de construcción y funcionamiento de la PTAR.
- Las instalaciones auxiliares requeridas para la etapa de construcción.
- La gestión de residuos durante la fase de construcción.
- El cronograma de actividades del proyecto: construcción, funcionamiento y cierre.

3.3.2.4 Descripción de las alternativas técnicas analizadas

Las tres alternativas técnicas analizadas para el tratamiento de las aguas residuales de la planta de Guangarcucho son:

- Alternativa 1: Proceso de Lodos Activados.
- Alternativa 2: Lodos Activados de Aireación Prolongada.
- Alternativa 3: Filtros Percoladores.

En el estudio ambiental también se realizó el análisis de la alternativa que considera la no construcción de la PTAR Guangarcucho, teniendo como resultado, la incapacidad de la PTAR Ucubamba de poder recibir caudales adicionales en un par de años más con las complicaciones ambientales que representaría, incumpliendo con la normativa nacional en varios parámetros, como: DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos.

Después del estudio y análisis de cada una de las tres alternativas con proyecto, se decidió que la más conveniente para Guangarcucho era la Alternativa 1 con la que se ha trabajado en el resto de las actividades del estudio ambiental y cuyos componentes son:

Para el tratamiento del agua residual se tendrán las siguientes unidades:

- Cajón de ingreso, pozo de gruesos, cribas gruesas, cribas finas y desarenadores tipo vórtice.
- Sedimentadores primarios.
- Reactor biológico, sedimentadores secundarios.
- Desinfección por radiación ultravioleta.

Para el tratamiento de lodos se tendrán las siguientes unidades:

- Espesadores a gravedad: espesadores del lodo primario por asentamiento a gravedad.

- Espesadores banda por gravedad: espesamiento del lodo de desecho (WAS) mediante el sistema mecánico de bandas tamizadoras.
- Digestores anaeróbicos: estabilización de sólidos crudos bajo condiciones mesofílicas.
- Almacenamiento del lodo digerido: permite la compactación del lodo y la decantación del lodo sobrenadante.
- Deshidratación centrífuga: alcanza grandes concentraciones de sólidos mediante la remoción de agua en el lodo digerido a través de la fuerza centrífuga.
- Almacenamiento de biosólidos: almacenamiento para la recolección del lodo hacia camiones o volquetas para su disposición hacia el relleno sanitario.

3.3.2.5 Determinación del área de influencia

El área de influencia del presente proyecto se genera en base a la Guía Metodológica para definición de áreas de influencia, del Ministerio del Ambiente, la misma que está vigente desde marzo del 2015, y que considera lo establecido en el Art. 16 del Capítulo II, Título III del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente reformado con Acuerdo Ministerial 061 de Mayo del 2015. Se ha definido un área de influencia de 330 ha de las cuales se describen:

- a) Área Referencial del Proyecto.
- b) Área de Influencia Directa.
- c) Área de Gestión (Indirecta).

Las mismas se determinaron en base a diferentes aspectos, mismos que se mencionan a continuación:

Área Referencial del Proyecto

El área referencial del proyecto comprende el Área de Gestión (Indirecta) así como el Área de Influencia Directa y se conforma a partir de los siguientes insumos:

- a) Coordenadas específicas de actividades y perfil del proyecto, y que se presentan en la Ficha Técnica del documento.
- b) Jurisdicción político administrativa del proyecto: El proyecto se localiza en el cantón Cuenca, parroquia Nulti, considerando que el área de influencia se encuentra también en la parroquia Llaoca.

Área de Influencia Directa del Proyecto

La delimitación del Área de Influencia Directa, la cual de conformidad a la “Guía Técnica para la definición de áreas de influencia”, del Ministerio del Ambiente-Subsecretaría de Calidad Ambiental (SCA), se define como: “La unidad espacial donde se manifiestan de manera evidente los impactos socio ambientales, durante la realización de los trabajos”, se ha establecido a partir de los siguientes criterios:

- **Recurso Agua:** Si consideramos el recurso agua, el área de gestión debe ser antes y luego de la descarga, por lo que se ha considerado 1,0 km aguas arriba del sitio previsto para la PTAR y 1,0 km aguas abajo, pero considerando además el concepto de Sistemas Hidrográficos o

Cuenca Hidrográficas, es decir luego de la unión del río Cuenca y Burgay, para formar el Paute.

- **Recurso Suelo:** El área que podría potencialmente afectarse con la construcción y funcionamiento de la PTAR, sería dentro del área de ubicación de los predios adquiridos para la implantación del proyecto, siendo la misma menor al área de influencia directa.
- **Recurso Aire:** El aire podría ser afectado por malos olores originados por deficiencias en el funcionamiento de la PTAR, se estima de lo observado en la PTAR de Ucubamba, que es inferior a los 500 m, siendo este el criterio adoptado. Es decir dentro del área delimitada, se encuentran los sectores que se localizan inclusive hasta los 1.500 m, como es el caso la zona de ubicación del Terminal de Productos Limpios.
- **Recurso Flora y Vegetación:** El área de localización del recurso flora y vegetación, que potencialmente puede afectarse, constituye los predios en los cuales se localizará la PTAR, la misma que es menor al área de influencia directa.
- **Recurso Fauna:** El área de localización del recurso fauna, que potencialmente puede afectarse, constituyen los predios en los cuales se localizará la PTAR, la misma que es menor al área de influencia directa. La fauna acuática ubicada aguas debajo de la PTAR será sin lugar a duda beneficiada positivamente y su extensión podría ser de varios kilómetros, siempre y cuando el saneamiento sea integral, con la depuración de las aguas servidas de los cantones Azogues, Biblián y Déleg.
- **Aspectos Sociales:** Los sectores poblacionales que se han demarcado dentro del Área de Influencia Directa, son los que se encuentran dentro de un radio de 1,0 Km. Es importante indicar que los predios en los cuales se ubica la PTAR tienen una estructura de crecimiento particular, por cuanto hacia el este por la presencia del barranco del cerro Pacchamama y al Oeste por la presencia de actividad minera; la presencia de viviendas es escasa.

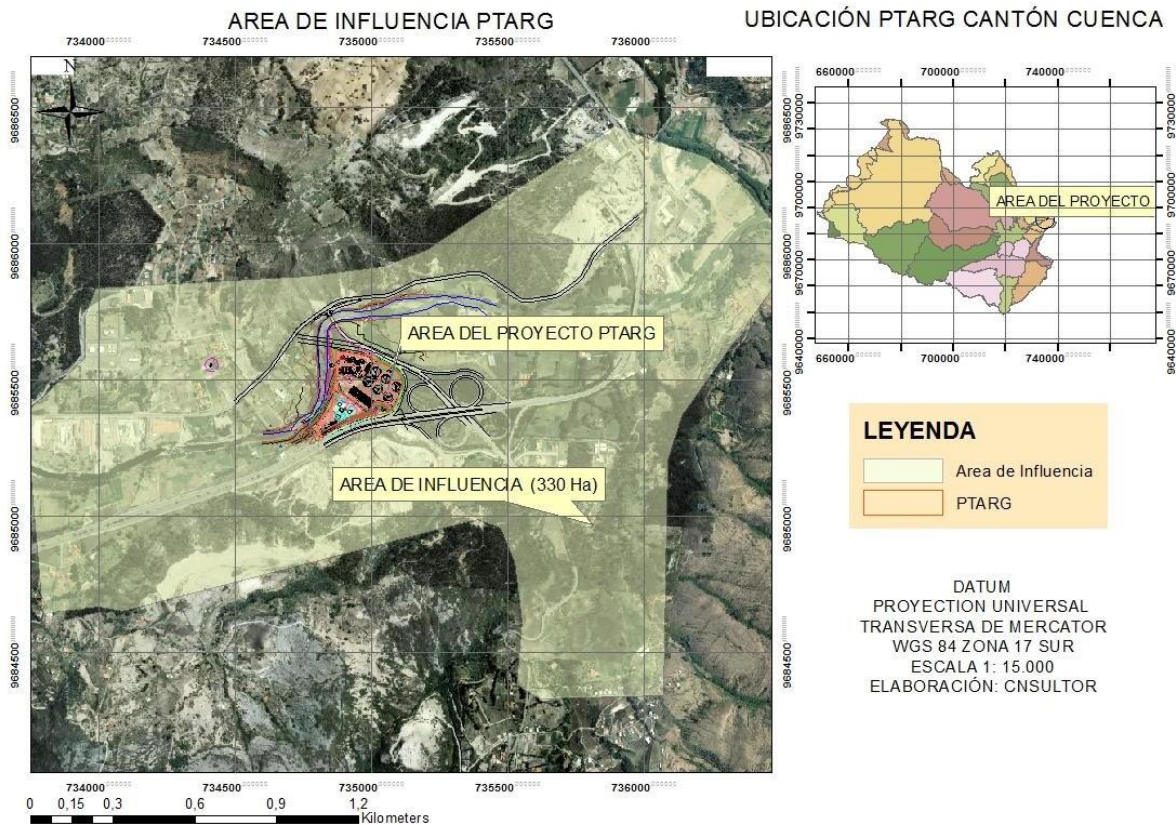
Área de Gestión (Influencia Indirecta) del Proyecto

El área de gestión del proyecto, área espacial en donde se gestionará los impactos positivos y negativos ocasionados por el proyecto sobre los componentes socio-ambientales, se ha generado a partir de trabajo de campo para el levantamiento de la Línea Base Ambiental del proyecto, así como de las características propias del proyecto (localización de infraestructura, accesos, actividades a desarrollarse, etc.).

Para definir el área de gestión se han considerado los siguientes componentes socio-ambientales:

- Recurso suelo: Afecciones por uso y ocupación.
- Características Ambientales y sociales del área del proyecto.

Figura 3-5: Área de influencia del proyecto



3.3.2.6 Inventario Forestal

No procede la realización de un inventario Forestal ya que no se identificaron especies nativas dentro del área que será intervenida para la implantación del proyecto.

3.3.2.7 Identificación, evaluación y valoración de impactos ambientales

Para el estudio de los impactos ambientales se aplicó la siguiente metodología:

- a) Identificación de actividades a desarrollarse durante las fases de construcción, operación y abandono del proyecto, y que podrían causar impactos ambientales. Para la realización de ésta actividad se consideraron los criterios emitidos por el equipo técnico que realiza el presente estudio.
- b) Identificación de componentes ambientales (Abiótico, Biótico y Antrópico). Para la identificación de las alteraciones ambientales, se toma en consideración las características ambientales del entorno (componentes ambientales caracterizados en el diagnóstico y considerados como sensibles) y las potenciales acciones generadoras de impactos en el sector de ubicación del proyecto y su área de influencia.

- c) Para la evaluación de impactos ambientales que se producirán en el área de influencia, se ha desarrollado la Matriz de Leopold modificada, que permite establecer las relaciones causa efecto de acuerdo a las características del proyecto. Adicionalmente, se han priorizado los impactos de mayor magnitud y relevancia, los mismos que contarán con medidas correctivas.

3.3.2.8 Análisis de riesgos

En esta etapa del estudio ambiental, se describen los posibles riesgos que se derivan de las actividades del proyecto, los que deben ser incluidos en el Plan de Contingencias del Plan de Manejo Ambiental (PMA), analizando los riesgos asociados del proyecto al ambiente, y del ambiente al proyecto.

Riesgos asociados del proyecto al ambiente (endógenos)

Para la evaluación de los riesgos del proyecto hacia el ambiente o endógenos, se ha utilizado la metodología del método simplificado de evaluación de riesgos, que permite cuantificar la magnitud de los riesgos existentes y, en consecuencia, jerarquizar racionalmente su prioridad de corrección. Los principios que rigen la evaluación de riesgos para este método son:

- Determinar la gravedad de pérdidas potenciales como resultado del peligro identificado (leve, moderado, grave, catastrófico, etc.).
- Determinar la frecuencia con la que se hayan producido o pudieran producirse pérdidas (muy baja, baja, media, alta, etc.).
- Determinar la probabilidad de que se produzca una pérdida como resultado de que el peligro identificado se encuentre presente durante un hecho determinado.

El propósito principal de evaluar riesgos es identificar y ordenar por categoría las actividades y/o condiciones que presentan riesgos de pérdida asociada con esta actividad y/o condición y riesgos a los componentes ambientales. Se pueden aplicar las prioridades adecuadas al desarrollo e implementación del sistema de manejo del control de riesgos a fin de reducir o eliminar riesgos, comenzando con las de más alto riesgo, hasta las de bajo riesgo.

Al valorar este tipo de riesgos, se ha determinado que existen riesgos cuya categorización es media para las siguientes actividades: incendios, fallas operativas y riesgo en la salud de los trabajadores. Como categoría baja se tienen las actividades: fallas mecánicas (técnicas), explosión, colapso de tanques y riesgos sobre la población. Además, se ha realizado un análisis de riesgos para cada una de las estructuras de la PTAR en base a la Norma NFPA 820.

Riesgos del ambiente hacia el proyecto (exógenos)

Estos se refieren a los riesgos potenciales que el entorno natural pudiera afectar al proyecto, habiéndose identificado los siguientes: geológicos, atmosféricos, biológicos y sociales. Dentro de los riesgos geológicos se tiene a: terremotos, sismos, deslizamientos, asentamientos y erosión del suelo; los atmosféricos: inundaciones, huracanes, sequías y tormentas; los biológicos: plagas y epidemias y; los sociales: sabotaje y terrorismo. Del análisis de cada uno de estos riesgos se tiene que, se consideran como moderados a: inundaciones, deslizamientos y plagas; todos los demás riesgos, tienen una categoría baja.

Como un complemento al estudio de diseños definitivos de la PTAR Guangarcucho, ETAPA EP contrató la realización del proyecto “Análisis de la vulnerabilidad a eventos de crecida y diseño de obras físicas para la protección de la margen derecha del río cuenca, en el sector de Guangarcucho”. Los resultados de este proyecto indican que, en las condiciones actuales, el terreno previsto para la

PTAR Guangarcucho puede soportar, sin mayores desbordamientos, crecidas de hasta 25 años de período de retorno. Para períodos de retorno mayores, concretamente hasta 100 años, se recomiendan obras como la construcción de plataformas sobre el nivel de inundación mediante rellenos y la protección de las plataformas del relleno mediante el uso de enrocado. En el estudio de diseño de la PTAR Guangarcucho se han considerado las recomendaciones de este estudio de vulnerabilidad.

3.3.2.9 Protocolos de prueba

En este apartado se ha tomado como referencia la calidad de agua y eficiencia actual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, así como los parámetros de calidad que se esperan alcanzar con la nueva planta Guangarcucho. Del análisis de la información de Ucubamba se observa que el efluente de la PTAR Ucubamba cumple con los parámetros exigidos por la normativa ambiental vigente y que del efluente de la PTAR Guangarcucho se espera una calidad aún mayor que la de la PTAR Ucubamba.

3.3.2.10 Plan de manejo ambiental

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) es un instrumento de gestión que comprende una serie de programas orientados a prevenir, mitigar y compensar los impactos negativos, que las actividades asociadas al proyecto causarán o pueden ocasionar al entorno ambiental y social.

El Plan de Manejo consta de nueve (9) planes encaminados a prevenir, mitigar o compensar tanto los impactos severos como los moderados determinados durante la etapa de construcción, funcionamiento y abandono. Estos planes son:

1. Plan de prevención y mitigación de impactos.
2. Plan de manejo de desechos.
3. Plan de comunicación, capacitación y educación ambiental.
4. Plan de relaciones comunitarias.
5. Plan de contingencias.
6. Plan de seguridad y salud en el trabajo.
7. Plan de Rehabilitación de áreas afectadas.
8. Plan de abandono y entrega del área.
9. Plan de monitoreo y seguimiento.

En cada uno de los programas que componen el PMA, las medidas han sido adoptadas de acuerdo a los siguientes elementos: aspecto ambiental, el impacto identificado, las medidas propuestas, los indicadores, los medios de verificación, el período y la frecuencia.

Como parte del Plan de Manejo se obtiene el presupuesto para la ejecución del Plan, el mismo que ha sido obtenido considerando los rubros y precios unitarios que para el efecto dispone ETAPA EP.

El estudio ambiental, además del informe, contiene los siguientes anexos:

Anexo 1: Términos de Referencia aprobados por el MAE.

- Anexo 2: Certificado de Intersección con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), Patrimonio Forestal del Estado (PFE), Bosques y Vegetación Protectora (BVP) para el proyecto: Estudio ambiental para la PTAR Guangarcucho.
- Anexo 3: Especificaciones técnicas ambientales de plan de manejo.
- Anexo 4: Manual de operación y mantenimiento de la planta.
- Anexo 5: Oficio dirigido al INPC, Regional 6, mediante el cual se hace entrega del informe final del estudio arqueológico de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho.
- Anexo 6: Mapas relacionados con el estudio ambiental.
- Anexo 7: Oficio de la Dirección Municipal de Planificación del GAD Municipal de Cuenca, relacionado con el Uso de Suelo del predio destinado para la construcción de la PTAR Guangarcucho.
- Anexo 8: Medidas de seguridad en la PTAR Guangarcucho.
- Anexo 9: Oficio de la Fiscalización de la consultoría, aprobando el estudio ambiental.

3.3.2.11 Entrega del borrador del estudio ambiental al MAE

El estudio ambiental preparado por el Consorcio, fue aprobado por la Fiscalización de la consultoría, por lo que el día 4 de mayo de 2017, se ingresó a la plataforma SUIA del Ministerio de Ambiente. Esta actividad fue coordinada con la Subgerencia de Gestión Ambiental de ETAPA EP y con la Fiscalización.

3.3.2.12 Proceso de participación ciudadana

El Proceso de Participación Social (PPS) se realizará conforme al procedimiento establecido en la normativa ambiental vigente, para ello se coordinará con la Autoridad Ambiental competente (MAE en la Provincia del Azuay) y el promotor para el desarrollo de este, con la asignación del Facilitador del proceso otorgado por el MAE.

El especialista ambiental del Consorcio preparará la presentación del Estudio para el día de la Audiencia y se coordinará la logística y el desarrollo del proceso con el Facilitador.

Previo a la Participación Social oficial, con acompañamiento del Facilitador designado por el MAE, el día jueves 22 de diciembre de 2016 en la noche, se llevó a cabo un Taller Informativo de Socialización, con los dirigentes y pobladores de la parroquia Nulti. El evento tuvo lugar en la Casa Comunal de la Comunidad de San Juan Pamba, parroquia Nulti, al que asistieron representantes y pobladores de las localidades de San Juan Pamba, Molle, Alpayacu, Chaullabamba, Pucay, Chocarsi, Guangarcucho y Llatcón. Se contó además con la presencia de un representante de ETAPA EP el Ing. Vicente González, personal de Fiscalización del proyecto: el Ing. Alfonso Neira e Ing. Arturo Barros, del Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM: el Ing. Walter Novillo e Ing. Juan Pablo Vicuña junto con su equipo socioambiental: Ing. Gonzalo Clavijo e Ing. Tatiana López.

3.3.2.13 Correcciones y preparación del Informe Final

Luego del Proceso de Participación Social y que se disponga del informe del Facilitador, de ser el caso, se realizarán las correcciones y se elaborará el Informe Final Ambiental.

3.3.2.14 Colaboración en la obtención de la Licencia Ambiental

El Acuerdo Ministerial No. 061 del 4 de mayo del 2015, publicado en el Registro Oficial No. 316 del 4 de mayo del 2017, considera que los proyectos de “Construcción y Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Mayor a 5.000 m³/día”, requieren Licencia Ambiental. La PTAR Guangarcucho está catalogada dentro de estos proyectos (caudal medio 1.200 L/s = 103 680 m³/día).

Durante el tiempo que el Consorcio se encuentre laborando en el proyecto, apoyará a ETAPA EP en la obtención de la Licencia Ambiental. Si la Licencia es tramitada luego de la entrega de los estudios, colaborará con la entrega de la documentación que disponga y que sea solicitada por el MAE.

3.4 Evaluación del laboratorio existente de Ucubamba

Esta actividad se divide fundamentalmente en dos partes:

1. Conocimiento de las características actuales del laboratorio Ucubamba.
2. Recomendaciones para que el laboratorio cumpla apropiadamente con las exigencias del nuevo tratamiento Guangarcucho.

Para la primera parte, se solicitó información a ETAPA EP y además se realizaron visitas al laboratorio y entrevistas al personal. Así, se identifican los objetivos del laboratorio de Ucubamba, su ubicación, el organigrama funcional del laboratorio, el personal que labora en el laboratorio con sus funciones, el equipo que dispone el laboratorio, los parámetros que se pueden determinar en el laboratorio y su capacidad para el análisis de muestras y los planes y equipos de seguridad.

La segunda parte ha sido elaborada en función del conocimiento de la situación actual del laboratorio, y de las necesidades actuales y futuras, de personal, equipos y materiales, en razón de que este laboratorio seguirá prestando servicio a la planta de tratamiento existente de Ucubamba y además a las necesidades de la nueva de Guangarcucho. De esta manera, se definen los parámetros que serán medidos en la PTAR Guangarcucho y en consecuencia, las necesidades que surgen en el laboratorio de Ucubamba considerando que la mayoría de los análisis de laboratorio requeridos para la PTAR Guangarcucho serán ejecutados en Ucubamba. También se definen las necesidades del laboratorio de Guangarcucho para los análisis que se realizarán en este local, señalándose los parámetros que se recomienda sean medidos, su frecuencia y el método de análisis, así como el equipo e instrumentación mínimos requeridos para cumplir con estas exigencias.

Posteriormente, para el laboratorio de Ucubamba, se dan las recomendaciones para las instalaciones actuales, para las instalaciones futuras o ampliaciones que ETAPA EP tiene planificado realizar, las especificaciones de los equipos y la capacitación del personal.

De manera general se tiene que el laboratorio de Ucubamba es muy completo, que la mayoría de parámetros de laboratorio que se requieren para la PTAR Guangarcucho pueden ser analizados en Ucubamba, debiendo implementarse algunos equipos adicionales para cubrir la demanda de Guangarcucho y ponerles a funcionar algunos equipos disponibles que este momento se encuentran paralizados, como por ejemplo, el cromatógrafo de gases y el contador de bajo fondo.

En el Anexo 8 se presenta el detalle de la evaluación del laboratorio de Ucubamba, con el Apéndice 1, en el que se incluye a los planos del laboratorio de Ucubamba con la ubicación de cada una de sus instalaciones y, un compendio de fotografías de cada uno de los ambientes y su equipamiento.

Sección 4 PLANTEAMIENTO DE LA ALTERNATIVA RECOMENDADA

Durante la Fase I del proyecto y de acuerdo a los Términos de Referencia y Oferta Técnica del Consorcio, se realizó el análisis de las siguientes alternativas de tratamiento para la PTAR Guangarcucho:

- Alternativa 1: Proceso de Lodos Activados con alimentación escalonada.
- Alternativa 2: Lodos Activados de Aireación Prolongada.
- Alternativa 3: Filtros Percoladores.

Luego del correspondiente análisis realizado que consideró aspectos técnicos, eficiencias en los procesos, requerimiento de áreas, facilidades operativas, costos de inversión y de funcionamiento, el Consorcio recomendó como mejor a la Alternativa 1, es decir al sistema de lodos activados con alimentación escalonada. Esta recomendación fue aceptada por la Administración del ETAPA EP y Fiscalización.

Enseguida se incluye el detalle del análisis de las alternativas efectuado durante la Fase I.

4.1 Confirmación de los caudales afluentes y las cargas contaminantes

4.1.1 Caudal medio

En los Términos de Referencia del estudio, constan, a manera referencial, los caudales totales generados en la ciudad de Cuenca y su división entre la PTAR Ucubamba y la PTAR Guangarcucho, con un análisis quinquenal desde el año 2015 hasta el 2030. Se menciona además a un caudal proveniente de la ciudad de Azogues como un aporte potencial de la PTAR Guangarcucho.

En el transcurso de la presente consultoría, ETAPA EP, mediante el Oficio No. 2016-060-ARB, comunica al Consorcio que el año horizonte del proyecto es el 2050 e incluye una tabla con los valores quinquenales de la población y los caudales totales a generarse en la mancha urbana de la ciudad de Cuenca y cómo serán distribuidos entre la PTAR Ucubamba y la PTAR Guangarcucho. En esta comunicación ya no se considera el aporte de Azogues. Un resumen de esta tabla se presenta a continuación.

Tabla 4-1: Población y Caudales a ser Tratados en las PTAR Ucubamba y Guangarcucho

Año	Población Proyectada (hab)	Dotación Media (L/hab x día)	Caudal de Aguas Residuales a Tratar (L/s)	PTAR Ucubamba (L/s)	PTAR Guangarcucho (L/s)
2010	428.000	275	1.493	1.493	-
2015	470.000	269	1.602	1.602	-
2020	535.000	263	1.781	581	1.200
2025	607.000	253	1.949	749	1.200
2030	686.000	247	2.149	1.600	549
2035	773.000	241	2.361	1.800	561
2040	867.000	232	2.548	1.800	748
2045	968.000	226	2.770	1.800	970
2050	1'077.000	220	2.999	1.800	1.199

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

En la comunicación de ETAPA EP se aclara además que, a partir del año 2019 (y aproximadamente hasta el año 2025) la PTAR Ucubamba se someterá a un proceso de retiro masivo de materiales sedimentados, siendo esa la causa del descenso de la capacidad máxima de esta planta que es igual a 1.800 L/s. En la tabla, para la determinación del caudal de aguas residuales, el coeficiente de retorno es igual a 0,80.

Enseguida se presenta el esquema de distribución de caudales para el año 2050.

Figura 4-1: Caudales a Tratar en Ucubamba y Guangarcucho



Posteriormente, ETAPA EP proporcionó información, de junio de 2016, sobre la población total y la servida con saneamiento, del área aportante al tratamiento de Ucubamba, con los siguientes valores:

Población total: 406.985 hab.
 Población servida: 376.025 hab.
 Cobertura: 92,39 %.

La estimación de la población total de la mancha urbana de la ciudad de Cuenca al año 2016, estimada por el Consorcio resulta igual a 482.335 habitantes, que dividida para los 376.025 habitantes que son cubiertos con el tratamiento Ucubamba, resulta una cobertura total de 77,96 %.

Para el año 2050 se ha considerado que la cobertura de toda la mancha urbana, incluida la zona que depositará sus aguas residuales en la PTAR Guangarcucho, tendrá una cobertura del 95 %, es decir, que, durante el período de diseño se tendrá una cobertura inicial del 77,96 % y una final del 95 %.

Con esta información, en la tabla siguiente se muestra a la población total, la población servida y los caudales de aporte requeridos para el diseño de la PTAR Guangarcucho, desde el año 2016 hasta el año 2050.

Tabla 4-2: Población y Caudales a Tratar en la PTAR Guangarcucho

Año	Población Total (hab)	Cobertura (%)	Población Servida (hab)	Dotación Media (L/hab x día)	Caudal Medio Total (L/s)	Aguas Ilícitas Más Infiltración (L/s)	PTAR Guangarcucho (L/s)
2016	69.755	78,0	54.381	268	135	102	237
2018	91.604	79,0	72.332	265	177	131	308
2020	114.450	80,0	91.519	263	222	159	381
2025	139.837	82,5	115.324	253	270	179	449
2030	175.251	85,0	148.921	247	340	209	549
2035	183.673	87,5	160.681	241	358	203	561
2040	254.520	90,0	229.037	232	491	257	748
2045	338.975	92,5	313.531	226	655	315	970
2050	430.585	95,0	409.055	220	831	368	1.199

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Se hace notar que el aporte alto de aguas ilícitas e infiltración fue comprobado en el mes de junio de 2016 mediante la estimación del consumo medio total de acuerdo a la población servida y las mediciones de caudal en el ingreso de Ucubamba. Es recomendable que ETAPA EP investigue el origen de estos caudales y trate de irlos eliminando o disminuyendo a través del tiempo.

Del cuadro se observa además que la variación de caudales durante el período de funcionamiento de la planta podría permitir un diseño con varias etapas constructivas; sin embargo, ETAPA EP, ha manifestado la necesidad de disponer del tratamiento de Guangarcucho a su máxima capacidad desde el inicio de su funcionamiento con propósitos operativos entre las plantas de Ucubamba y Guangarcucho, por lo que, en los diseños se ha considerado una sola etapa constructiva para el caudal medio de 1.200 L/s.

Con estas consideraciones los caudales totales medios de funcionamiento de la PTAR Guangarcucho serían los que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 4-3: Caudal Medio Total de Funcionamiento de la PTAR Guangarcucho

Año	PTAR Guangarcucho (L/s)
2018	308
2020	1.200
2025	1.200
2030	549
2035	561
2040	748
2045	970
2050	1.200

En los valores de esta tabla se consideran todos los aportes que llegan a la PTAR, es decir, los caudales domésticos, los industriales, los ilícitos y los de infiltración.

4.1.2 Caudal máximo

El caudal máximo resulta del producto del caudal medio por el factor de caudal máximo, el mismo que ha sido estimado con las mediciones horarias de caudal de aguas residuales que ingresan a la planta de Ucubamba, correspondientes a cinco meses de operación, de enero a mayo de 2016, con lecturas de caudal cada 15 minutos.

De este análisis, en el cuadro siguiente se muestran los valores promedio del factor pico de aguas residuales y los valores correspondientes a un percentil 99 (probabilidad del 99% de no superar este valor) para cada uno de los meses analizados.

Tabla 4-4: Factor de Caudal Máximo

mes	Factor de caudal máximo	
	Promedio	Percentil 99
Enero 2016	1,19	1,29
Febrero 2016	1,20	1,37
Marzo 2016	1,18	1,32
Abril 2016	1,16	1,22
Mayo 2016	1,17	1,22

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

En la tabla se observa que el promedio máximo es igual a 1,20, mientras que, el valor máximo correspondiente al percentil 99 es igual a 1,37. En base a estos resultados y con la finalidad de conferir un margen de seguridad al diseño, se adoptó un factor de caudal máximo de 1,5.

De esta manera, se obtuvieron los siguientes caudales:

- Caudal medio de tratamiento, con factor igual a 1 = 1.200 L/s
- Caudal máximo mensual, con factor igual a 1,2 = 1.440 L/s
- Caudal máximo diario, con factor igual a 1,5 = 1.800 L/s

- Caudal máximo instantáneo, con factor igual a 2 = 2.400 L/s

4.1.3 Caudales de diseño de las unidades del sistema

Para el diseño de las diferentes unidades de la planta de tratamiento se considera el caudal medio diario de las aguas residuales; excepto en los casos en los que la Norma Ecuatoriana (SENAGUA) señala un valor diferente, especialmente en las unidades que resultan afectadas por las variaciones de caudal u ocurrencia de caudales máximo, tal es el caso de las unidades del pretratamiento. Por otra parte, recomendaciones técnicas de diseño publicadas en la literatura especializada, señalan para algunos componentes de los sistemas, la verificación de las condiciones de operación a caudales máximos, punta o instantáneos, con niveles o tasas límites que cumplir. De esta manera, para la línea de tratamiento de agua desde los sedimentadores primarios hasta la desinfección se ha dimensionado para caudal medio y comprobado hidráulicamente para caudal máximo diario.

En la Tabla 4-5 se presenta un resumen de los caudales de diseño; y, para la verificación de las condiciones operacionales, de acuerdo con lo señalado.

Tabla 4-5: Caudales de diseño de las Unidades de Tratamiento de Aguas Residuales

ESTRUCTURA	CAUDAL
Obras de llegada y tratamientos preliminares: <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento - Comprobación hidráulica 	Q máximo diario Q máx. instantáneo
Desarenadores: <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento - Comprobación hidráulica 	Q máximo diario Q máx. instantáneo
Decantación primaria <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento - Comprobación de cargas hidráulicas, masa y recolección 	Q medio Q máximo diario
Tanques de aireación de lodos activados <ul style="list-style-type: none"> - Volumen - Capacidad del sistema de aire - Capacidad de recirculación 	Q medio Q máximo diario Q máximo mensual
Decantación de lodos biológicos <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento - Comprobación de cargas hidráulicas, masa y recolección 	Q medio Q máximo diario
Espesadores de lodos biológicos <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamiento - Comprobación de cargas hidráulicas, masa y recolección 	Q purga máximo Q purga máximo
Digestión y Deshidratación de lodos	Q medio

Fuente: Norma Técnica de Estudios y Diseños de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento y Recomendaciones de literatura especializada.

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

En la tabla se indican lodos activados debido a que, como se ha indicado, la opción seleccionada para el tratamiento de las aguas de la planta de tratamiento de Guangarcucho resulta con esta tecnología.

4.1.4 Cargas contaminantes

La proyección de los parámetros de diseño para el agua residual afluyente a la PTAR Guangarcucho se basó en un análisis de cargas per cápita. Se calcularon las cargas per cápita actuales de los diferentes contaminantes y se proyectaron sus valores hacia el final del período de diseño, año 2050, considerando las proyecciones de población, área de cobertura de alcantarillado en la ciudad, y las reducciones en el consumo per cápita de agua potable entregadas por ETAPA EP.

4.1.4.1 Características de la DBO₅

Al analizar los valores promedio de carga de DBO₅ de los últimos 12 meses (julio 2015 a junio 2016) y considerando la población servida al año 2016: 376.025 habitantes (proporcionada por ETAPA EP), se obtuvo la carga per cápita de DBO₅ (en gramos por habitante por día, g/hab-día) en el agua residual de la ciudad. El cálculo del DBO₅ per cápita en el año 2016 resultó igual a 54,27 g/hab-día, valor que cae dentro de los valores típicos del agua residual. Se asumió una carga de 55 g/hab-día constante en el tiempo y se proyectó la concentración de DBO₅ al año 2050, en base a la población servida y al caudal de agua residual. La proyección muestra que la concentración de DBO₅ al año 2050 resulta igual a 217,1 mg/L.

4.1.4.2 Características de la DQO

La concentración y cargas de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) dependen generalmente de las concentraciones y cargas de DBO₅. En promedio, la demanda química de oxígeno (DQO) es 2,37 veces la concentración de DBO₅. Se realizó también una proyección de los valores per cápita observados en el año 2015, hacia el año 2050 en base a las proyecciones de población y caudal de aguas residuales. Asumiendo un valor per cápita de DQO de 125 g/hab-día, similar al observado en el año 2015, lo que da una concentración de diseño de 494 mg/L. Esta concentración da una relación DQO/DBO₅ de 2,25, similar a la observada en el año 2015, y que cae en un rango razonable para el diseño.

4.1.4.3 Características de los SST

La concentración media de SST histórico es de 239 mg/L, que no es un valor alto. Sin embargo, la relación de los SST/DBO₅ histórica es de 2,02 (239 mg/L/118 mg/L) es un valor alto comparado con la media de valores típicos observados en otros municipios, que está entre 1,1 y 1,4. Esto sugiere que puede haber cantidades significativas de infiltración en el sistema de alcantarillado que contribuye a la baja concentración de DBO₅.

Los datos históricos SST tienen una tendencia al alza muy significativa en los años 2015 y el primer semestre del 2016. La causa de este aumento en las concentraciones de SST pueden ser las grandes obras de infraestructura que se están construyendo en la ciudad, siendo de especial consideración el tranvía. Por tal razón no se consideraron los años 2015 y 2016 como característicos de las concentraciones de sólidos en el agua residual.

Utilizando los datos históricos entre los años 2010 y 2014, se obtuvieron las cargas per cápita promedio con valores muy similares a 75 g/hab-día. Utilizando la proyección de población servida y de caudales de aguas residuales a tratar, la concentración de SST proyectada al año 2050 resulta iguala 296 mg/L.

4.1.4.4 Características de los SSV

Se obtuvieron los valores de carga per cápita de SSV de la misma manera que con SST, es decir solamente mirando los valores entre los años 2010 y 2014. No se consideraron los años 2015 y 2016 ya que el aumento en la concentración se lo relaciona con las grandes obras de infraestructura que se llevan en la ciudad y por lo tanto no representan valores típicos del agua residual. La carga per cápita promedio está en 38 g/hab-día, y se utilizó este valor para proyectar la concentración de SSV al año 2050. La concentración proyectada es de 150 mg/L, y da una relación SSV/SST de 0,51 (150 mg/L/ 296,2 mg/L).

4.1.4.5 Características del Nitrógeno Total

En general, se espera que las concentraciones y las cargas de nitrógeno total sigan el mismo incremento con el tiempo que la DBO₅, a menos que exista una gran descarga industrial que podría influir en los niveles de nitrógeno del agua residual. La relación de la concentración de la DBO₅ proyectada al 2050 y la del año 2015 resulta aproximadamente igual a 1,50 (220 mg/L [2050] / 147 mg/L [2015]). De esta manera, la concentración del NTK del año 2015 es igual a 25,4 mg/L, y proyectándola al 2050 resulta igual a 38,1 mg/L.

El análisis de las cargas del nitrógeno total para los años 2015 y 2016 tiene valores similares. Al calcular el valor promedio de carga per cápita de nitrógeno total se obtiene un valor de 9,89 g/hab-día. Utilizando un valor asumido de 10 g/hab-día, la concentración de Nitrógeno total proyectada al año 2050 resulta igual a 39,50 mg/L, un valor ligeramente superior al calculado siguiendo el enfoque anteriormente descrito, en base al incremento de la concentración de DBO₅ en el tiempo.

Esta concentración de nitrógeno total de 39,50 mg/L está alineada con valores observados en otros municipios y es un valor razonable para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.

4.1.4.6 Características del Fósforo Total

Al igual que para el nitrógeno total, las concentraciones y cargas de fósforo total se espera que sigan el incremento con el tiempo de la DBO₅, de aproximadamente 1,50 veces. Así, la concentración al 2015 es igual a 4,5 mg/L y, la del 2050, 6,75 mg/L.

Adicionalmente, las cargas del fósforo total se proyectaron al año 2050, utilizando el valor per cápita calculado para los años 2015 y 2016, e igual a 1,85 g/hab-día. De esta manera, la concentración de fósforo total proyectada al año 2050 resulta igual a 7,3 mg/L, un valor similar al calculado siguiendo el enfoque anteriormente descrito, en base al incremento de la concentración de DBO₅ en el tiempo. Esta concentración de fósforo total de 7,3 mg/L está alineada con los valores de cálculo de otros municipios y es razonable para una base de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales.

4.1.5 Concentraciones de diseño

Las concentraciones de diseño para los contaminantes de aguas residuales para la ciudad de Cuenca se describen en mayor detalle en el Anexo 1, y se resumen a continuación en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Proyección de Concentraciones de Contaminantes para Diseño

AÑO	PARÁMETRO	CARGA CONTAMINANTE (kg/d)	APORTE Por Habitante (g/hab-d)	Concentración (mg/L)
2050	DBO ₅	22.509	55,0	217,6
2050	DQO	51.158	125,0	494,5
2050	SST	30.695	75,0	296,7
2050	SSV	15.552	38,0	150,0
2050	Nitrógeno Total	4.093	10,0	39,6
2050	Fósforo Total	757	1,85	7,3

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

4.1.6 Aporte industrial

ETAPA EP proporcionó al Consorcio información relacionada con las industrias que, ubicándose luego de la PTAR Ucubamba, serán aporte de la PTAR Guangarcucho. Estas industrias son: Licores Cósmica La Toscana y Solcuero.

En el Anexo 1: Informe de Condiciones de Tratabilidad, se realiza el análisis del aporte industrial, notándose que no tiene incidencia en los caudales, debido a que el caudal medio de 1.200 L/s proporcionado por ETAPA EP, incluye todos los aportes a la planta, incluido el industrial. Con respecto a las cargas y concentraciones, en los diseños del tratamiento del agua, además del caudal medio se hace la comprobación para el caudal máximo mensual (1.440 L/s) con lo que se cubre más allá de la influencia del aporte industrial.

4.2 Validación y confirmación de la alternativa seleccionada

En esta sección se describe la revisión y validación de los estudios previos que dispone ETAPA EP sobre la nueva PTAR Guangarcucho, y la selección de la alternativa recomendada. Los dos estudios preliminares desarrollados por ETAPA EP, son los siguientes:

- Diseños Finales de la IIª Fase Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento de Cuenca, Ecuador – Conceptualización de la PTAR Chaullabamba, desarrollado por la consultora española TYPESA Ingenieros Consultores y Arquitectos, documento entregado con fecha Junio de 2004.
- Preliminary desing WWTP Guangarcucho and main collector system, realizado por Witteveen + Bos de Holanda (Países Bajos) para la empresa Belga DENYS N.V. Belgium, documento de fecha de Octubre de 2011.

Los dos proyectos fueron desarrollados en períodos diferentes y con diferentes alcances, aunque ambos tienen el mismo período de diseño hasta el año 2040. El primer proyecto, desarrollado por TYPESA se lo realizó en el año 2004 para un caudal de 728 L/s. El proyecto consideró tres alternativas de tratamiento, un sistema de lodos activados con digestión anaerobia de lodos, un sistema de aireación prolongada con canales de oxidación con digestión anaerobia de lodos, y un proceso de tratamiento biológico mediante filtros percoladores. El estudio concluye recomendando el sistema de lodos activados.

El proyecto de Witteveen + Bos se lo actualizó para un caudal mayor igual a 1058 L/s. Este proyecto analiza alternativas de sistemas de lodos activados, un biorreactor de membrana (MBR), un filtro biológico y un grupo de reactores secuenciales (SBR). El análisis de alternativas determina que la opción más conveniente es un sistema de lodos activados con decantación primaria.

El Consorcio, para el análisis, planteó las tres alternativas del proyecto de TYPESA de 2004, actualizadas al caudal de diseño de 1.200 L/s y con las concentraciones de contaminantes proyectadas al año 2050, descritas en la sección 4.1. Las tres (3) alternativas analizadas son:

- Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados, con digestión anaerobia de lodos, en doble etapa, con calentamiento.
- Alternativa 2: Proceso de lodos activados con aireación prolongada en canales de oxidación, sin decantación primaria, con digestión anaerobia de lodos, en doble etapa, con calentamiento.
- Alternativa 3: Proceso con lechos bacterianos (filtros percoladores), con digestión anaerobia de lodos en una etapa, sin calentamiento.

El análisis, validación y selección de la alternativa de tratamiento para la PTAR Guangarcucho se realizó mediante el uso de dos software especializados. El primero es el modelo CapdetWorks que realiza un dimensionamiento preliminar de estructuras y determina costos de construcción, operación y mantenimiento y costo presente de todo el proyecto. El segundo software es el modelo GPS-X que sirvió para determinar las eficiencias de tratamiento de las alternativas y los parámetros de calidad del agua efluente.

4.2.1 Descripción de las alternativas

A continuación se describen los componentes de las alternativas analizadas junto con las bases de diseño utilizadas para la modelación de las mismas. Para todas las alternativas se utilizaron las mismas características del agua residual afluente descritas en este informe en la sección 4.1.

4.2.1.1 Alternativa 1: Proceso convencional de lodos activados

Los lodos activados son un proceso de tratamiento secundario de crecimiento suspendido que utiliza microorganismos para la eliminación de sólidos orgánicos disueltos, así como sólidos sedimentables y no sedimentables en suspensión. El término lodos activados quiere decir que las partículas están llenas de bacterias, hongos y protozoos. Estos microorganismos y partículas se encuentran en forma natural en las aguas residuales crudas. Los microorganismos se cultivan en tanques de aireación, en los que se proporciona oxígeno a los microorganismos y estos obtienen nutrientes del agua residual.

Los sistemas cuentan con un tratamiento preliminar para la eliminación de sólidos inorgánicos grandes, escombros, y basuras. Un sistema de sedimentación primaria se encarga de eliminar el material flotante y partículas orgánicas sedimentables. El sistema de lodos activados puede tratar el efluente de los sedimentadores primarios o agua residual cruda. Al entrar a los tanques de aireación los microorganismos de los lodos activados consumen los sólidos del agua residual. Luego esta agua pasa a un sistema de sedimentación secundaria, donde el agua es separada de los sólidos y microorganismos mediante decantación. Los sólidos sedimentados y microorganismos son bombeados en parte nuevamente hacia los tanques de aireación, mientras que el agua clarificada sigue hacia el siguiente proceso.

Los lodos de desecho pasan a un sistema de tratamiento que pueden incluir procesos de espesamiento, digestión aerobia o anaerobia y deshidratación antes de su disposición final.

Esta alternativa considera un sistema convencional de lodos activados, cuyo esquema de los trenes de tratamiento de líquidos y sólidos, con tratamiento de lodos mediante digestión anaerobia se muestra en la Figura 4.2.

Figura 4.2: Esquema de la Alternativa 1 de Tratamiento Mediante Lodos Activados

Fuente y Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Los componentes del tratamiento y las bases de diseño se describen a continuación.

Sistema de pretratamiento

El sistema de pretratamiento busca eliminar los sólidos gruesos que trae el agua residual antes del sistema de bombeo que eleva el agua residual hacia la cabecera de la planta para su tratamiento. El sistema de pretratamiento considerado, comprende la llegada del afluente a través del interceptor hacia una cámara de llegada, cribas de extracción de sólidos gruesos, una estación de bombeo y un sistema de extracción de arena.

- Las cribas seleccionadas son de limpieza mecánica, con una apertura de paso de 38 mm, y una capacidad promedio de 1.200 L/s, con vertimiento de sólidos retenidos en una cinta transportadora que a su vez alimenta una prensa de residuos.
- Para la estación de bombeo se consideraron bombas sumergibles anti obstrucción con accionadores de frecuencia variable de tal manera que la descarga de la estación de bombeo se ajusta al flujo entrante.
- Se ha considerado una altura estática de 31 metros.
- El desarenado y desengrasado, en la modelación consideró desarenadores de flujo horizontal, en tanto que, en la optimización se han colocado desarenadores tipo vórtice. Se tienen dos tanques desarenadores para lograr redundancia del sistema, se utilizaron parámetros de diseño estándar, y además un sistema de remoción de arenas.
- El agua extraída del pretratamiento, retornará al pozo de entrada de la planta.

Las bases de diseño para la modelación de este sistema se muestran en la Tabla 4-7. Datos adicionales que utiliza el modelo tanto de entrada como de salida se muestran en el Anexo 6.

Tabla 4-7: Bases de Diseño del Sistema de Pretratamiento

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Cribas de Remoción Gruesas	
	Tipo	Criba con limpieza mecánica
	Número de unidades	2
	Ancho / Altura, (m)	5 / 0,3
	Aberturas, pulgadas (mm)	1 1/2 in (38 mm)
	Ancho de barras (mm)	6,4
	Factor de forma	2,42
2.	Bombas del Afluente	
	Tipo	Velocidad Variable Sumergible, no obstructivas
	Número	3+1
	Carga del Sistema, (m)	31
	Capacidad / Unidad, (L/s)	880
	Capacidad en firme, (L/s)	2.640
3.	Desarenadores	
	Tipo	Vórtice
	Número de unidades	2
	Densidad, (kg/m ³) [mojado]	1.605
	Volumen de arena (m ³ arena/1.000 m ³)	0,0277
	Capacidad / unidad (L/s)	1.305
	Tiempo de detención (min)	3 – 5

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El mismo sistema de pretratamiento o tratamiento preliminar fue utilizado para las tres alternativas.

Tratamiento primario

El efluente de las cribas y desarenadores entra a los sedimentadores primarios para la remoción de sólidos suspendidos del agua residual cruda, materiales flotantes y remoción de una fracción de la carga orgánica antes del tratamiento secundario.

- La modelación considera 8 sedimentadores primarios circulares de 20,4 metros de diámetro y hasta 3 m de profundidad. Este diseño preliminar fue optimizado con tres (3) tanques de 35 m de diámetro y 4 metros de profundidad.
- Los sedimentadores cuentan con vertederos de rebose y canaleta del efluente.
- El sistema de alimentación de agua y recolección de lodos es central.

- Sistema de bombeo de lodos primarios, para remover el lodo del fondo del sedimentador.
- El efluente se direcciona hacia los reactores biológicos.

La Tabla 4-8 muestra un resumen de las bases de diseño para los sedimentadores primarios.

Tabla 4-8: Bases de Diseño del Sistema de Tratamiento Primario

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Sedimentadores Primarios	
	Tipo	Circular, Accionamiento Central
	Número de unidades	3
	Tasa de Carga Superficial, (m ³ /m ² /día)	40,75
	Tasa de Carga en el Vertedero, m ³ /m-d	372,6
	Tamaño / Unidad, Diámetro x Profundidad (m)	35 x 4
	Gravedad Específica	1,05
	Tasa de Carga de Sólidos kg/(m ² -d)	13
	Tiempo de retención (h)	2,67
2.	Bombas de lodo primario de desecho	
	Tipo	Centrífuga, pozo seco
	Número	3 funcionando
	Promedio de bombeo diario (m ³ /d)	3.500
	Capacidad / Unidad, (L/s)	13,1
	Capacidad en firme, (L/s)	39,3

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Tratamiento biológico

Los componentes del tratamiento biológico son los siguientes:

- Para esta modelación preliminar se consideró un biorreactor configurado con alimentación escalonada, primordialmente basado sobre el concepto de remoción de la DBO carbonácea.
- El sistema de aireación escalonada fue considerado mediante difusores de membrana fina y cónica instalados en el fondo de los tanques.
- El diseño del sistema se basa en un tiempo de retención de sólidos (SRT) de 4 a 5 días, que corresponde con un factor de seguridad de 2,0.
- Se ha considerado para los tanques de aireación una profundidad de 5 m.
- Los valores de las Eficiencias Estándar de Transferencia de Oxígeno (Standard Oxygen Transfer Efficiency, SOTE) están basados en recomendaciones específicas del modelo CapdetWorks que se basa en valores típicos y recomendaciones de fabricantes.

- La modelación preliminar muestra ocho (8) tanques de aireación de 41 m de largo y 10 m de ancho con una profundidad de 5 m. Este diseño fue optimizado con 4 tanques de aireación en lugar de 8 y ajustar las dimensiones al terreno disponible. Un diseño preliminar considera 4 tanques de 55 m de longitud, 25 m de ancho y 5 m de profundidad.
- El diseño sistema de sedimentación secundaria, separación de lodo biológico y el agua clarificada se basa en un índice de volumen de lodos (Sludge Volumen Index, SVI) de 120 y características de sedimentación predichas por correlaciones de estándar industriales de SVI.
- La modelación preliminar propone el uso de 8 tanques sedimentadores de 31 m de diámetro y 4,5 m de profundidad. Este diseño preliminar se ajustó a 4 sedimentadores secundarios circulares de 40 m de diámetro y 4,5 m de profundidad para que puedan implantarse en el área del proyecto.
- Los sedimentadores fueron configurados con sistema de alimentación central y sistema central de recolección de lodos, como los sedimentadores primarios.
- La recirculación de lodos biológicos a los tanques de aireación, se la modeló con bombas sumergibles.
- El efluente fluye por gravedad hacia el proceso de desinfección.

La Tabla 4-9 muestra un resumen de las bases de diseño para el sistema de tratamiento secundario de la Alternativa 1.

Tabla 4-9: Bases de Diseño del Sistema Secundario de Lodos Activados

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Tratamiento Secundario	
	Tipo	Lodos activados con alimentación escalonada,
	Número de Tanques	4
	Tamaño, L x A x Profundidad agua (m)	55x25x5
	Volumen Total, (m ³)	26.100
	Período de Retención, horas	6
	Tiempo de Retención de Sólidos, días	4,7
	Factor de seguridad	2
	SSLM. mg/L	5.000
2.	Difusores	
	Tipo	Burbuja fina, membrana
	Eficiencia de la Transferencia de Oxígeno, %	16
	Mínimo flujo de aire para burbuja fina (L/s/m ²)	0,61
	a (N m ³ /min/100 m ³)	0,5
	b B(L/s/m ²)	0,95
3.	Bomba de Retorno de Lodos Activados	
	Tipo	Centrífuga, pozo seco
	Número	4 + 2

Componente del Sistema		Promedio Diario
	Flujo de Licor Mezclado, (L/s)	592
	% retorno	50
	Volumen de arena (m ³ arena/1.000 m ³)	0,0277
4.	Sedimentadores Finales	
	Tipo	Circulares, Manejo Central, colectores hiperbólicos, Deflectores Stamford
	Número	4
	Tamaño / Unidad, diámetro x Profundidad de Agua, (m)	40x5
	Volumen Total, (m ³)	25.340
	Período de Retención, horas	5,8
	Tasa de Carga Superficial, m ³ /m ² -d	20,37
	Tasa de carga de Sólidos, kg/m ² -d	117,18
	Efluente de Sólidos Suspendidos (g/m ³)	118,18
	Tasa de Carga Superficial sobre la longitud del vertedero (m ³ /m-d)	186,30

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Desinfección

El sistema de desinfección analizado para esta alternativa corresponde a la desinfección ultravioleta (UV). Este sistema ha sido considerado por su eficiencia, requerimiento menor de espacio, no se requiere el uso de químicos peligrosos y corrosivos, además que avances en su tecnología han logrado disminuir los costos de los equipos y lograr lámparas más eficientes y de mayor vida útil.

Para el diseño preliminar de alternativas se utilizaron las características estándar del modelo Capdet Works que corresponden a un sistema de presión baja. El diseño del sistema fue optimizado para la alternativa seleccionada. La Tabla 4-10 muestra un resumen de las bases de diseño para el sistema de desinfección UV. Este mismo sistema ha sido considerado para todas las tres alternativas analizadas.

Tabla 4-10: Bases de Diseño del Sistema de Desinfección UV

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Desinfección Ultravioleta UV	
	Tipo	Desinfección Ultravioleta con Lámparas Escalonadas e Inclinadas
	Clase	Intensidad media, presión baja
	Mínimo porcentaje de transmisión de UV , %	65
	Carga UV predicha, m ³ /(min-W)	0,00529
	Requerimiento de potencia para las lámparas, W	1.000
	Reducción de luz UV por obstrucción, %	5%
	Reducción de luz UV por edad de lámparas, %	14%
	Área de la manga de cuarzo, m ²	0,000418
	Número de lámparas	300

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Tratamiento de lodos

El tratamiento de los lodos generados en el sistema comprende los procesos de espesamiento de lodos primarios y lodos activados de desecho, la digestión anaerobia de los lodos espesados para su estabilización, la deshidratación de los biosólidos y su disposición.

Espesamiento de lodos primarios

Comprende el proceso de concentración de los sólidos removidos de los sedimentadores primarios previo al ingreso a los digestores. El objetivo es producir una concentración de sólidos de 4,5 al 6 por ciento. Los lodos sedimentados son recolectados y bombeados al tanque de espesamiento de lodos a gravedad.

Se modelaron dos tanques espesadores a gravedad para concentrar los lodos primarios. Los sólidos que llegan se acumulan en la zona de sedimentación y son comprimidos por la presión de los sólidos más superficiales de la zona de espesamiento. El agua desplazada fluye a través de los canales intersticiales de la matriz de sólidos hacia una zona de líquido clarificado en la superficie. El agua clarificada es recogida por la canaleta y enviada a gravedad a la estación de bombeo del afluente. Los sólidos concentrados son recolectados y removidos del fondo de los tanques espesadores y bombeados a los digestores.

Se busca que los lodos al salir del espesamiento tengan una concentración de sólidos secos de aproximadamente 5%, de esta manera se reduce el volumen de los digestores. Se utilizaron parámetros estándar de diseño y valores típicos dentro del modelo CapdetWorks. La Tabla 4-11 muestra un resumen de los parámetros de diseño. Otros valores y los resultados de la modelación se pueden observar en el Anexo 6.

Tabla 4-11: Bases de Diseño de los Espesadores de Lodos Primarios

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Espesador Primario de Lodos	
	Tipo	Gravedad
	Número de tanques	2
	Concentración de sólidos	5%
	Tamaño / Unidad, Diám. x Profundidad del Agua, (metros)	14,9 x 2,74
	Área Superficial Total, m ²	348
	Carga de Sólidos, kg/m ² -día	48,82
	Carga Hidráulica, m ³ /m ² -d	1,22
	Velocidad de asentamiento m/d	18,29

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Espesamiento de lodos activados de desecho

Los lodos de desecho de los sedimentadores secundarios serán espesados antes de su digestión para reducir el volumen del tanque requerido para una adecuada estabilización de sólidos. Todos los lodos de desecho serán espesados a través del uso de las bandas espesadoras a gravedad.

Se consideraron parámetros de diseño estándar del modelo CapdetWorks. El diseño preliminar del modelo dieron un total de 7 bandas espesadoras de 2 metros de ancho. Este diseño ha sido optimizado para tener un diseño más eficiente de acuerdo al espacio disponible, habiéndose colocado 3 bandas espesadoras de 3 m de ancho. La Tabla 4-12 muestra un resumen de las bases de diseño utilizadas. Mayor información de los datos de entrada y salida de la modelación se muestran en el Anexo 6.

Tabla 4-12: Bases de Diseño de los Espesadores de Lodos de Desecho

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Espesador de Lodos Activados de Desecho (WAS)	
	Tipo	Bandas de secado a gravedad
	Número de tanques	3
	Ancho de filtro banda (metros)	3
	Tasa de carga hidráulica por metro de ancho de cada filtro banda (m ³ /d)	529
	Contenido final de sólidos	7%

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Digestión Anaerobia

El proceso de digestión estabilizará los sólidos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales. El tiempo de retención mínimo requerido por los sólidos es de 15 días a temperaturas de al menos 35 °C para cumplir con los estándares de destrucción de patógenos y con una destrucción mínima de 38% de sólidos volátiles para cumplir los requisitos de reducción de atracción de vectores.

Se requieren dos (2) digestores para mantener un criterio de tiempo mínimo de retención de sólidos de 15 días a una tasa máxima mensual de producción de sólidos con un digestor fuera de servicio. El diseño preliminar determinó la necesidad de 8 tanques de 17 m de diámetro y 8 m de profundidad. Este diseño fue optimizado para implantarlo de mejor manera con 3 tanques digestores de 24 m de diámetro y 30,5 m de profundidad y un tanque de almacenamiento de biosólidos de 24 m de diámetro y 11,6 m de profundidad. Los tres tanques digestores y el tanque de almacenamiento de lodos serán de acero con una base de hormigón armado.

Los parámetros de diseño utilizados son valores típicos aplicados por el modelo CapdetWorks y un resumen se muestra en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Bases de Diseño de los Digestores Anaerobios

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Digestores Anaerobios	
	Tipo	Ovoide, Completamente Mezclado, Mesofílico, 35°C
	Porcentaje de sólidos volátiles destruidos %	50%
	Contenido final de sólidos	4,5%
	Tiempo de detención mínimo en el digestor, días	15
	Flujo de sólidos, m ³ /d	681
	Tamaño: Diámetro / Profundidad (alternativa), metros	16,8 / 7,71 (24,0 / 30,5)
	Número de digestores (alternativa)	8 (3)
	Volumen de sólidos de digestores y tanque de almacenamiento (kg/d)	31.300 (27.290)

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El sistema de recirculación y bombeo los calcula el modelo en base a parámetros estándar y los resultados del diseño preliminar. La información sobre el diseño preliminar y los datos de salida del modelo se muestran en el Anexo 6.

El gas que se genera en la digestión anaerobia es utilizado para la alimentación de la caldera de gas de los digestores anaerobios.

Deshidratación de biosólidos

El sistema de deshidratación de sólidos fue diseñado preliminarmente con filtros prensa, por sus requisitos menores de energía y de polímero en comparación con las centrífugas de deshidratación. Sin embargo, estos producen tortas con menor contenido de sólidos, lo que puede ocasionar mayores costos de transporte. Para el estudio de alternativas se optó por el sistema de centrífugas de deshidratación que proporcionan una torta con mayor concentración de sólidos, de manera que puedan ser transportados con mayor facilidad y de acuerdo a los requerimientos de ETAPA EP.

Se utilizaron parámetros estándar de diseño provisto por el modelo CapdetWorks los cuales se resumen en la Tabla 4-14.

Tabla 4-14: Bases de Diseño de los Deshidratadores de Biosólidos

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Deshidratación de biosólidos	
	Tipo	Centrífuga
	Número de centrífugas	3
	Capacidad, (L/s)	25,23
	Cantidad de Lodos Deshidratados, (m ³ /d)	81,6
	% Sólidos Secos	24%
	Carga de Sólidos Secos, (kg/h)	2.608

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El agua de escurridos procedente del proceso de deshidratación se junta con el agua sobrenadante de espesadores, pretratamiento y reboses y se regresa a la cabecera de la planta.

4.2.1.2 Alternativa 2: Lodos activados de aireación prolongada en canales de oxidación

La aireación prolongada en canales de oxidación es un proceso modificado de tratamiento de lodos activados que utiliza tiempos prolongados de retención de sólidos (SRT) para remover los compuestos orgánicos biodegradables. El canal de oxidación consiste en un canal circular u ovalado provisto de aireación mecánica. Normalmente son sistemas de mezcla completa, pero pueden ser modificados para acercarse a un sistema de flujo pistón (mientras más se acerca al flujo pistón es necesario difusores de aire antes que aireación mecánica, pero ya su operación no sería como un canal de oxidación). Normalmente la aireación mecánica se la realiza con aireadores de eje horizontal, vertical o inclinado.

Un sistema de tratamiento preliminar precede normalmente a los canales de oxidación. Un tratamiento primario no es una práctica típica para este tipo de tratamiento, por lo tanto no se considera en esta alternativa. El flujo a los canales de oxidación es aireado y mezclado con el caudal de recirculación del sedimentador secundario. El efluente de la sedimentación secundaria requiere desinfección antes de ser descargado al cuerpo de agua receptor.

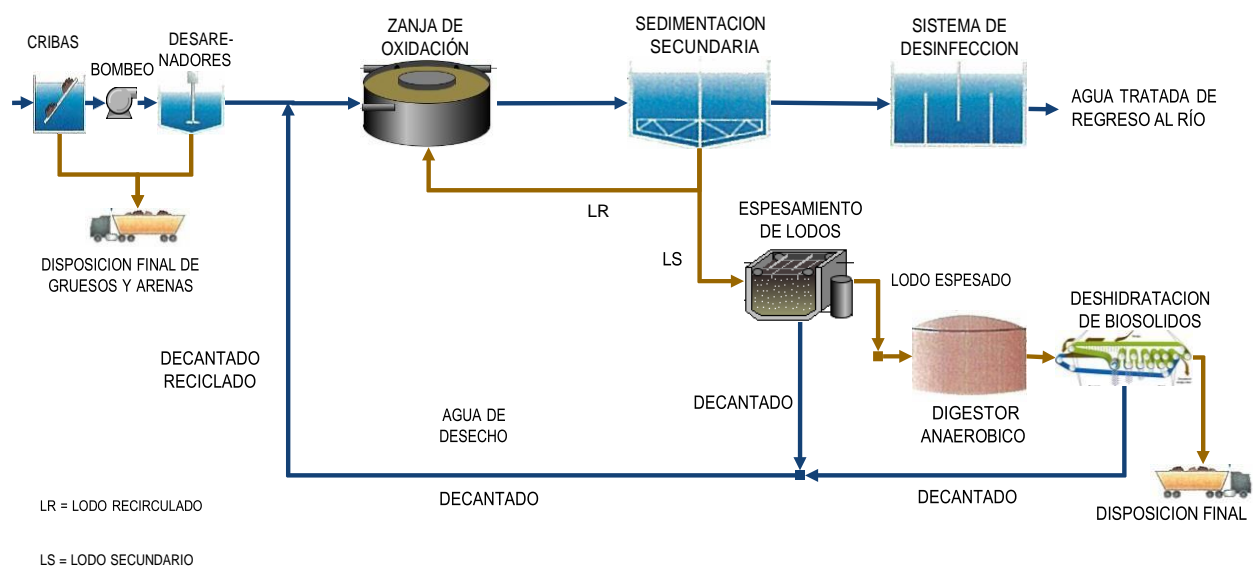
Se utilizan regularmente aireadores superficiales, como cepillos rotores, aireadores de disco, de tubo o difusores de burbuja fina. Estos además de proporcionar oxígeno al licor mezclado también proveen recirculación. La aireación incrementa rápidamente el oxígeno disuelto que luego decrece a medida que la biomasa lo consume mientras el licor mezclado circula el reactor y también mantiene los sólidos suspendidos.

Muchos fabricantes han desarrollado modificaciones a las zanjas de oxidación en especial para la eliminación de nutrientes, con ciclos de fases anóxicas y aerobias para lograr nitrificación y desnitrificación parcial, o también para obtener zanjas más profundas y de menor superficie.

Este sistema de tratamiento es muy efectiva para instalaciones pequeñas, comunidades pequeñas, o instituciones aislados, donde el costo del terreno no sea muy alto, pues este sistema requiere más terreno que un sistema convencional de lodos activados.

Un esquema de los trenes de tratamiento de líquidos y sólidos de la alternativa de tratamiento biológico mediante aireación prolongada en canales de oxidación, sin tratamiento primario, y con digestión anaerobia de lodos, se muestra en la Figura 4-3.

Figura 4-3: Esquema de la Alternativa 2 de Tratamiento Mediante Aireación Prolongada



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Los componentes del tratamiento se describen a continuación:

Sistema de Pretratamiento

Para el análisis de alternativas se consideró el mismo sistema de pretratamiento descrito para la Alternativa 1 que comprende cribas gruesas para la remoción de sólidos de gran tamaño, una estación de bombeo para elevar el caudal de tratamiento y desarenadores de flujo horizontal. Los parámetros de diseño se describen en la Tabla 4-7.

Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario como se indicó anteriormente es mediante lodos activados con aireación extendida en zanjas de oxidación.

Las zanjas de oxidación reciben el agua residual del sistema de pretratamiento, en donde es aireada y circula a una velocidad entre 0,25 a 0,35 m/s para mantener los sólidos en suspensión. La tasa de recirculación de lodos están entre 75% a 150% y el rango de concentración de sólidos suspendidos en el licor mezclado va de 1.500 a 5.000 mg/L (Metcalf & Eddy, 2003). La eficiencia en la transferencia de oxígeno de las zanjas de oxidación está en el rango de 1,54 a 2,16 KgO₂/KW-h (Baker Process, 1999). Para el análisis de esta alternativa se ha considerado la tasa de transferencia de oxígeno más alta 2,16 KgO₂/KW-h.

Los tiempos de retención de sólidos van desde los 4 a 24 días. La carga volumétrica de DBO_5 varía entre 0,1 a 0,3 $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3\text{-d}$, un valor común a usar es 0,24 $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3\text{-d}$. Finalmente el tiempo de retención hidráulica está entre las 6 y 30 horas para la mayoría de plantas municipales de tratamiento de aguas residuales.

El diseño preliminar de las zanjas de oxidación dieron como resultados tres (3) baterías con volumen total de 82.600 m^3 , considerando una profundidad de 3,66 m, que es un valor típico de diseño. Para este caso el área de reactores sería de 2,25 ha, que corresponden a 3 baterías de 134 m x 30 m, muy difícil de implantarlas en el terreno disponible. Este diseño preliminar fue optimizado aumentando la profundidad de las zanjas. La literatura técnica recomienda que las zanjas se diseñen para profundidades de hasta 5 m, sin embargo actualmente pueden diseñarse zanjas de mayor profundidad para reducir el área de los reactores. Se optimizó el diseño preliminar para una profundidad de 8 m lo cual da un área de zanjas de 10.293 m^2 , que puede distribuirse en dos baterías de 100 m x 52 m.

La Tabla 4-15 muestra un resumen de los parámetros de diseño utilizados para este proceso de tratamiento.

Tabla 4-15: Bases de Diseño del Sistema de Aireación Extendida en Zanjas de Oxidación

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Tratamiento Secundario	
	Tipo	Aireación extendida en zanjas de oxidación
	Número de Baterías	2
	Tamaño, L x A x Profundidad agua (m)	100 x 52 x 8
	Volumen Total, (m^3)	82.600
	Tiempo de Retención Hidráulico, (horas)	18,6
	Tiempo de Retención de Sólidos, (días)	35
	Factor de seguridad	2,7
	Sólidos suspendidos, (mg/L)	4.000
	Eficiencia de la Transferencia de Oxígeno Estándar, $\text{KgO}_2/(\text{m-hr})$	5,57
	Eficiencia de Oxigenación Estándar, $\text{KgO}_2/(\text{KW-h})$	2,16
	Eficiencia de mezcla, (m^3/m)	260,8
	Carga volumétrica de DBO_5 , $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3/\text{d}$	0,277
	Tasa de reciclaje de lodos, (m^3/d)	71.100
2.	Aireadores Mecánicos	
	Tipo	Aireadores Mecánicas, Rotores
	Eficiencia de la Transferencia de Oxígeno Estándar, $\text{KgO}_2/(\text{m-hr})$	5,57
	Eficiencia de Oxigenación Estándar, $\text{KgO}_2/(\text{KW-h})$	2,16

Componente del Sistema		Promedio Diario
	Eficiencia de mezcla, (m ³ /m)	260,8
3.	Sedimentadores Finales	
	Tipo	Circulares, Manejo Central, colectores hoperbólicos, Deflectores Stamford
	Número	4
	Tamaño / Unidad, diámetro. x Profundidad de Agua, (m)	40x5
	Volumen Total, (m ³)	25.200
	Desplazamiento, (horas)	6
	Tasa de Carga Superficial, (m ³ /m ² -d)	20,37
	Tasa de carga de Sólidos, (Kg/m ² -s)	117,18
	Efluente de Sólidos Suspendidos (g/m ³)	118,18
	Tasa de Carga Superficial sobre la longitud del vertedero (m ³ /m-d)	186,30

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El efluente de los reactores biológicos pasa a los sedimentadores secundarios, que tienen las mismas bases de diseño de los sedimentadores secundarios de la Alternativa 1.

Desinfección

Para esta alternativa también se consideró el sistema de desinfección mediante luz ultravioleta, como en la Alternativa 1. Las bases de diseño se describen en la Tabla 4-10.

Tratamiento de lodos

El tratamiento de lodos difiere de la Alternativa 1 en que, al no tener un tratamiento primario, no tiene espesamiento de lodos primarios. Los demás procesos son similares a la Alternativa 1 y consta de los siguientes componentes:

- Espesamiento mediante bandas de secado por gravedad para lodos secundarios. Las bases de diseño son las mismas de la Alternativa 1 y se muestran en la Tabla 4-12. Sin embargo para esta alternativa se requieren 10 bandas de secado por lo tanto el área de los edificios para espesadores sería mayor.
- Digestión anaerobia de lodo espesado, con producción de biogás. Las bases de diseño son las mismas de la Alternativa 1 que se muestran en la Tabla 4-13.
- Deshidratación de lodos mediante. La Tabla 4-14 muestra las bases de diseño utilizadas en la modelación de este proceso de deshidratación de lodos.
- El agua de escurridos procedente del proceso de deshidratación se junta con el agua sobrenadante de espesadores, pretratamiento y reboses y se bombea a la cabecera de la planta.
- En esta alternativa se espera menor producción de lodo que en el sistema de la Alternativa 1.

- Se genera menor cantidad de gas, no se espera suficiente producción como para co-generar energía.

4.2.1.3 Alternativa 3: Tratamiento con filtros percoladores

Los filtros percoladores son una tecnología de tratamiento biológico de aguas residuales municipales e industriales que tiene cerca de 100 años. Los filtros son un reactor biológico de película fija no sumergido que usa rocas o un medio plástico de relleno sobre el cual el agua residual se distribuye continuamente. Para esta alternativa se ha considerado el uso de un medio plástico de relleno, pues resulta en un sistema con mayor capacidad de tratamiento. El tratamiento ocurre cuando el agua residual fluye sobre la película biológica pegada al medio plástico de relleno.

Los filtros percoladores con medio plástico de relleno son construidos en formas redondas, cuadradas u otras y sus profundidades varían entre 4 y 12 m. Otros componentes del sistema incluyen el sistema de dosificación con rociadores de agua residual, una estructura de soporte del medio plástico de relleno y un sumidero inferior para colectar el efluente líquido del filtro que puede ser una estructura porosa que permita el paso del aire.

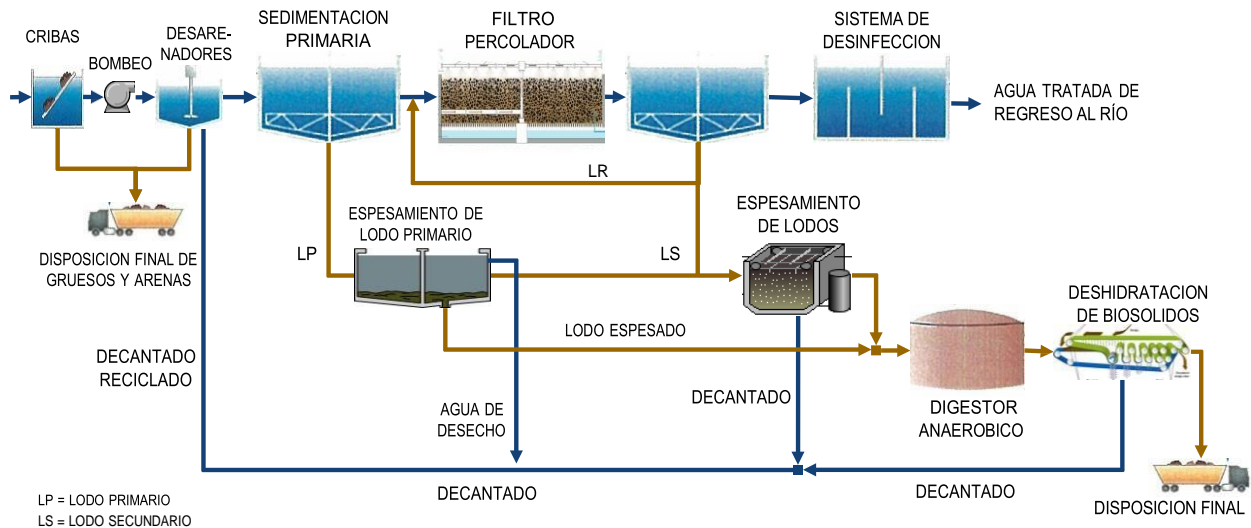
El agua afluyente es normalmente aplicada sobre el medio de relleno, mediante brazos rociadores extendidos a lo largo del diámetro interno de los filtros y que rota alrededor de los filtros para distribuir de manera uniforme el agua por unidad de área.

Esta alternativa de tratamiento requiere un tratamiento preliminar del agua residual seguido de un tratamiento primario previo al ingreso del agua a los filtros. Con esto se evita el ingreso de materiales como plásticos y cauchos que podrían causar obstrucción al medio filtrante. El efluente pasa a un sistema de sedimentadores secundarios y finalmente a la desinfección antes de su descarga final.

La comunidad biológica creada en el sistema incluye bacterias aerobias y facultativas, hongos, algas y protozoos, además de organismos más grandes como gusanos, larvas de insectos y caracoles. La micropelícula que se crea puede tener un espesor de 0,1 a 0,2 mm, pudiendo llegar a ser de hasta 10 mm.

Un esquema de los trenes de tratamiento de líquidos y sólidos de la alternativa de tratamiento mediante un proceso basado en filtros percoladores, con tratamiento de lodos mediante digestión anaerobia en etapa simple, sin calentamiento de lodos, se muestra en la Figura 4-4.

Figura 4-4: Esquema de la Alternativa 3 de Tratamiento Mediante Filtros Percoladores



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Los componentes de la Alternativa 3 de tratamiento mediante el uso de filtros percoladores se describen a continuación:

Pretratamiento

El sistema de pretratamiento es el mismo modelado para la Alternativa 1. Las bases de diseño de este sistema están descritas en la Tabla 4-7. Los componentes como se muestra en la Figura 4-4 comprende las cribas de sólidos gruesos, el sistema de bombeo del afluente y los desarenadores junto con la disposición final de gruesos.

Tratamiento Primario

El sistema de tratamiento primario comprende de sedimentadores primarios y se consideraron las mismas bases de diseño de la Alternativa 1, es decir que esta alternativa considera también 3 tanques sedimentadores.

Tratamiento Secundario

El sistema de tratamiento secundario consiste en la instalación de filtros percoladores de una etapa y funcionamiento paralelo. El medio filtrante de rellenos utilizado es plástico con un área específica de $85,302 \text{ m}^2/\text{m}^3$. El uso del medio plástico permite tener filtros profundos, en este caso de 8 m de profundidad. La carga hidráulica de diseño es de $44,01 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-d}$. Para el caso de la modelación de este sistema se consideró un diámetro de los filtros de 52 m.

Los sedimentadores secundarios tienen los mismos parámetros de diseño de las dos alternativas anteriores, por lo cual los resultados también son similares y se ha considerado la misma configuración que la mostrada en la Alternativa 1. Las bases de diseño para el tratamiento secundario usando filtros percoladores se muestran en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16: Bases de Diseño del Sistema de Tratamiento con Filtros Percoladores

Componente del Sistema		Promedio Diario
1.	Tratamiento Secundario	
	Tipo	Filtros percoladores
	Número de Torres	2
	Tamaño, Diámetro x Profundidad agua (m)	52 x 8
	Tasa de producción de lodos, kg SSV / kg DBO ₅	0,65
	Tasa de carga hidráulica, m ³ /(m ² -d)	44,01
	Área Específica del Medio Filtrante de Plástico, (m ² /m ³)	85,302
3.	Sedimentadores Finales	
	Tipo	Circulares, Manejo Central, colectores hiperbólicos, Deflectores Stamford
	Número	4
	Tamaño / Unidad, diámetro x Profundidad de Agua, (m)	40x4,5
	Volumen Total, (m ³)	25.200
	Desplazamiento, horas	5,3
	Tasa de Carga Superficial, (m ³ /m ² -d)	20,37
	Tasa de carga de Sólidos, (kg/m ² -s)	117,18
	Efluente de Sólidos Suspendedos, (g/m ³)	118,18
	Tasa de Carga Superficial sobre la longitud del vertedero, (m ³ /m-d)	186,30

Fuente: CapdetWorks

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Sistema de Desinfección

Para esta alternativa también se consideró el sistema de desinfección mediante luz ultravioleta, como en la Alternativa 1. Las bases de diseño se describen en la Tabla 4-10.

Tratamiento de Lodos

El sistema de tratamiento es similar a lo descrito en las alternativas 1 y 2, los procesos de tratamiento considerados son:

- Espesamiento a gravedad para lodos primarios. Las bases de diseño son las mismas de las alternativas 1 y un resumen de estas se muestran en la Tabla 4-11.
- Espesamiento de los lodos de desecho de los sedimentadores secundario por filtros banda a gravedad. Las bases de diseño son las mismas de las alternativas 1 y 2 y un resumen se

muestra en la Tabla 4-12. Sin embargo para esta alternativa se requieren únicamente 4 bandas de secado.

- Digestión anaerobia de lodos de desecho. Las bases de diseño son las mismas de la alternativa 1, y un resumen de estas se muestra en la Tabla 4-13.
- Deshidratación de lodo. Las bases de diseño que aplican a este sistema son las mismas de la alternativa 1 y se encuentran descritas en la Tabla 4-14. Sin embargo para esta alternativa se requieren de más unidades.
- El agua de escurridos procedente del proceso de deshidratación se junta con el agua sobrenadante de espesadores, pretratamiento y reboses y se regresa a la cabecera de la planta.
- Producción de gas ligeramente menor a la Alternativa 1 y mayor a la Alternativa 2.

4.2.2 Modelación con CAPDET Works

CapdetWorks es un software desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos de América para la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU. (EPA por sus siglas en inglés) para facilitar la evaluación de alternativas de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales en base a la estimación de costos de ciclo de vida y el grado de tratamiento proporcionado.

El software diseña preliminarmente cada unidad de proceso en base a las características del afluente y luego estima los costos de construcción del diseño. El programa usa valores predeterminados típicos de diseño para cada unidad de proceso para producir un cálculo aceptable de diseño. Para el análisis de costos el software utiliza un proceso que tiene en cuenta técnicas de estimación de parámetros y costos unitarios. El usuario también tiene la posibilidad de modificar las características del diseño y de actualizar costos unitarios, de acuerdo a las realidades locales. De esta manera la herramienta es útil para estimar costos a nivel de planificación y evaluar alternativas de diseño de nuevas instalaciones o actualizaciones en plantas existentes.

La metodología CAPDET utiliza dos técnicas de estimación de costos por separado. El costo de la construcción de cada unidad de proceso se calcula utilizando técnicas de costos unitarios. Y los problemas asociados con los criterios de ingeniería y limitaciones en el diseño de equipos se abordan mediante el uso de algoritmos, desarrollados por especialistas de ingeniería, e información consultada con varios fabricantes de equipos para determinar las limitaciones del equipo. Los costos adicionales específicos del sitio de implantación se abordan mediante el uso de curvas de costos generados estadísticamente en base a costos promedio.

CapdetWorks proporciona estimaciones de costos pero no es una herramienta de optimización matemática, pues no realiza simulación de procesos. Para la simulación de procesos se utilizará el software GPS-X para predecir el comportamiento de las alternativas de diseño.

4.2.2.1 Datos de entrada

Como datos de entrada se utilizaron las características de diseño del afluente a la PTAR Guangarcucho. La Tabla 4-17 muestra los datos de entrada al modelo CapdetWorks.

Tabla 4-17: Parámetros de Diseño de Entrada al Modelo CapdetWorks

Parámetro en el Afluente	Unidad	Valor en el Afluente
Caudal Promedio	L/s	1.200
Caudal Máximo	L/s	2.400
Sólidos Suspendidos	mg/L	296,0
% de Sólidos Volátiles	%	51,0
DBO ₅	mg/L	220,0
DBO ₅ Soluble	mg/L	50,5
DQO	mg/L	494,0
DQO Soluble	mg/L	93,6
NKT	mgN/L	39,5
NKT Soluble	mgN/L	27,6
NH ₄	mgN/L	20,9
Fósforo Total	mgP/L	7,3

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Los parámetros y costos unitarios utilizados para la estimación de costos se muestran en el Anexo 6 en donde están los Resultados de la Modelación. Se debe mencionar que los costos unitarios utilizados fueron estimados con información local disponible, pero no todos los costos representan valores en el país, algunos costos en especial de equipos, fueron estimados en el exterior. Este análisis de costos debe tomarse únicamente con la finalidad de comparación, pues las tres alternativas utilizaron el mismo análisis, más no representan, en su totalidad, los costos de construcción de acuerdo con la realidad local. Estos costos han sido refinados en la etapa de diseño detallado.

Las alternativas de análisis se configuraron de acuerdo a los esquemas mostrados en las Figuras 4-2 a 4-4. También se utilizaron la información de las bases de diseño que se describen en las tablas de la sección 4.2.1. Estas configuraciones y los datos de entrada fueron también exportados al modelo GPS-X para la simulación de procesos y obtención de eficiencias de tratamiento.

4.2.2.2 Resultados de modelación

La modelación en CapdetWorks entrega un diseño preliminar de los procesos de tratamiento y una estimación de costo de la planta de tratamiento configurada. El diseño preliminar permite un dimensionamiento inicial de los diferentes procesos y en base a eso un cálculo de los costos de construcción, operación, mantenimiento, energía requerida y valor presente durante la vida útil. Cabe indicar que el software fue desarrollado como una herramienta de evaluación de alternativas, para ayudar a la toma de decisiones. Este evalúa técnica y económicamente diferentes configuraciones de procesos de plantas de tratamiento de aguas residuales, pero no es la mejor herramienta para la optimización de un diseño. El resultado del modelo es un pre-diseño que ofrece mucha confianza para la comparación de alternativas y la toma de decisiones.

Para el diseño preliminar CapdetWorks utiliza bases de diseño estándar con parámetros típicos para los diferentes procesos de tratamiento. Aunque no es muy flexible, se pueden variar los parámetros

de entrada y modificar los dimensionamientos iniciales para ajustar el diseño por ejemplo a condiciones de terreno o requerimientos del efluente. Para el análisis de las tres alternativas que se estudiaron, se ajustaron algunos parámetros de diseño para obtener mejores eficiencias en los procesos, y se ajustaron los resultados de los diseños, para implantarlos en el sitio del proyecto.

4.2.2.3 Dimensionamiento

El diseño y dimensionamiento preliminar del modelo CapdetWorks entregó los volúmenes y áreas necesarias de los procesos de tratamiento de las tres alternativas. Las áreas de la Tabla 4-18 compara los resultados del dimensionamiento de los diferentes procesos de las tres alternativas, no tiene en cuenta áreas verdes, edificios de administración o laboratorio, tuberías enterradas, túneles, espacio entre equipos ni accesos, vías o rutas de emergencia. Luego estas áreas fueron implantadas en el terreno disponible y los resultados se muestran más adelante en esta sección.

Tabla 4-18: Resultados de la Estimación de Áreas del Modelo CapdetWorks

Proceso	Alternativa 1 Lodos Activados (m ²)	Alternativa 2 Aireación Extendida (m ²)	Alternativa 3 Filtros Percoladores (m ²)
Cribas Gruesas y Desarenadores	180	180	180
Estación de Bombeo de la Cabecera	160	160	160
Sedimentadores Primarios 3 tanques de 35 m de diámetro y 3 m de profundidad	2.900	-	2.900
Tanques de Aireación Escalonada	3.300	-	-
Zanjas de Oxidación	-	10.330	-
Filtros Percoladores	-	-	4.250
Edificio de Sopladores	170		
Sedimentadores Secundarios 4 tanques de 40 m de diámetro	5.050	5.050	5.050
Desinfección UV (asumido)	320	320	320
Bombeo Intermedio y de Recirculación	-	-	440
Espesadores de Lodos Primarios a Gravedad	350	-	350
Digestión Anaerobia 4 tanques, Diámetro: 22,6 m, Profundidad: 30,5 m.	1.600	1.600	1.600
Espesadores de Lodos de Desecho con Bandas de Secado a Gravedad	455	545	365
Filtros banda a Presión	335	335	305
AREA TOTAL m² (solamente procesos)	14.820	18.520	15.920
AREA TOTAL ha (solamente procesos)	1,48	1,85	1,59

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

El sistema de lodos activados convencionales es el que menor área requiere de las tres alternativas estudiadas, requiere alrededor de 1,48 ha para procesos únicamente. El sistema de aireación extendida, es el que mayor área de procesos requiere, con 1,03 ha, para las zanjas de oxidación únicamente, más de tres veces el tamaño de los tanques de aireación del sistema de lodos activados. Las áreas de los sistemas de tratamiento preliminar, sedimentadores primarios, sedimentadores secundarios, desinfección y digestión anaerobia son similares entre las tres alternativas analizadas.

En base a estas áreas y el dimensionamiento preliminar de las tres alternativas de diseño, producto de la modelación con CapdetWorks, se realizó un emplazamiento preliminar de los procesos en el sitio del proyecto para comparar las alternativas. Como se indicó anteriormente se hicieron algunas modificaciones al diseño preliminar de las instalaciones que entrega CapdetWorks para poder emplazar la PTAR en el área disponible. Los esquemas de los procesos y los planos de implantación de las tres alternativas se muestran en el Anexo 6.

La Figura 4-5 muestra la implantación preliminar del sistema de lodos activados convencionales. En la figura se observa la implantación de tres sedimentadores primarios de 35 m de diámetro, los 8 tanques de aireación, además de los 4 sedimentadores secundarios 40 m de diámetro. En la línea de tratamiento de lodos también se observan 4 digestores anaerobios ovoides con un diámetro de 23 m. Además de los procesos de espesamiento y deshidratación así como la desinfección UV. Se tiene también un diseño preliminar de las vías internas y de acceso a la planta. Se observa que la Alternativa 1 puede ser emplazada en el sitio del proyecto.

Figura 4-5: Implantación de la Alternativa 1 de Tratamiento Mediante Lodos Activados

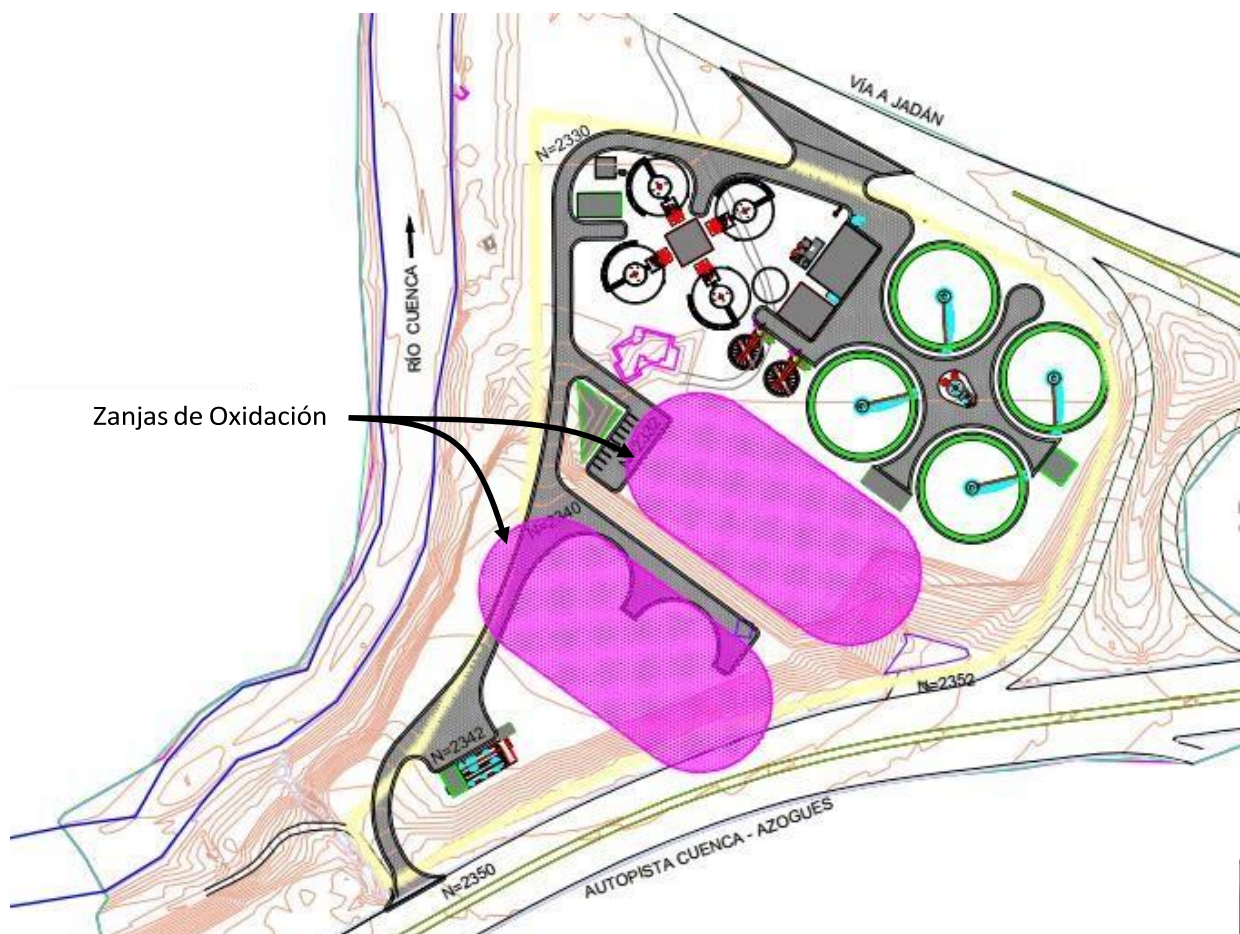


Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

La Figura 4-6 muestra la implantación preliminar de la Alternativa 2, tratamiento mediante aireación prolongada utilizando zanjas de oxidación. Las dimensiones de los procesos de tratamiento preliminar, sedimentadores secundarios, digestión anaerobia, desinfección UV, espesamiento y deshidratación son similares a los de la Alternativa 1. Esta alternativa no cuenta con sedimentadores primarios.

Como se describe en la Tabla 4-18 el área requerida para las zanjas de oxidación es tres veces mayor al área necesaria para los aireadores del sistema de lodos activados. Para la implantación se consideraron dos reactores de zanjas de oxidación de 8 metros de profundidad y de aproximadamente 100 m de largo por 52 m de ancho. Como se observa en la Figura 4-6 no existe espacio suficiente para implantar las zanjas de oxidación en el sitio del proyecto sin que afecte los taludes del terreno o los otros componentes de la planta. Por esta razón la Alternativa 2 no es viable de ser implantada en el sitio del proyecto.

Figura 4-6 Implantación de la Alternativa 2 Tratamiento Mediante Zanjas de Oxidación



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

La Figura 4-7 muestra la implantación de la Alternativa 3 de tratamiento mediante filtros percoladores. Las dimensiones de los procesos de tratamiento preliminar, sedimentación primaria, digestión anaerobia, desinfección UV, espesamiento y deshidratación son similares a los de la Alternativa 1.

También se observa que las dos torres de filtros percoladores pueden ser implantadas en el sitio del proyecto aunque su ubicación es muy ajustada y requiere de un diseño especial de los taludes cercanos para evitar problemas en su estabilidad. Los otros componentes del sistema no tienen mayor dificultad para ser implantados en el terreno disponible.

Figura 4-7: Implantación de la Alternativa 3 de Tratamiento Mediante Filtros Percoladores

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

4.2.2.4 Costos

CapdetWorks hace un análisis de costos de construcción, operación, mantenimiento, materiales, químicos, energía y de ciclo de vida. Los costos se calculan de acuerdo a algoritmos y de una base de datos del modelo que incluye costos unitarios, y curvas de costos. El software permite que se ajusten los costos de acuerdo a la realidad local. Para el análisis de las tres alternativas se ajustaron los costos de terrenos, mano de obra, materiales y energía con costos locales. Ya que los equipos y maquinarias se fabrican en el exterior se mantuvieron los costos de la base de datos del modelo.

Para el análisis del costo presente del ciclo de vida se estimó un tiempo de construcción de dos (2) años y un período de vida útil de 32 años (hasta el año 2050). Además se consideró un porcentaje de interés anual del 8%.

El resultado de la estimación de costos de las tres alternativas se muestra en la Tabla 4-19. Los cuadros completos con el dimensionamiento preliminar y análisis de parámetros y costos unitarios se incluyen en el Anexo 6 Estudio de Alternativas.

Tabla 4-19: Resultados de la Estimación de Costos del Modelo CapdetWorks

Alternativa	Costo Presente (\$)	Costo de Construcción (\$)	Costo de Operación (\$/año)	Costo de Mantenimiento (\$/año)	Costo de Materiales (\$/año)	Costo de Químicos (\$/año)	Costo de Energía (\$/año)	Amortización (\$/año)
Alternativa 1 – Lodos Activados	77.000.000	43.600.000	322.000	75.800	556.000	414.000	1.330.000	3.850.000
Alternativa 2 – Aireación Extendida	76.800.000	39.900.000	322.000	51.400	509.000	425.000	1.670.000	3.560.000
Alternativa 3 – Filtros Percoladores	79.000.000	46.700.000	306.000	84.900	501.000	278.000	1.500.000	4.060.000

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

De la estimación de costos se observa que la Alternativa 2 – Tratamiento mediante aireación extendida es la de menor costo presente tuvo, \$76,8 millones de dólares, mientras que la Alternativa 1 – Tratamiento mediante sistema de lodos activados tiene un costo presente del ciclo de vida muy cercano de \$77,0 millones de USD. La Alternativa 3 tuvo el mayor costo presente durante su ciclo de vida, \$79,0 millones de USD. Los costos de construcción varían entre las tres alternativas, siendo la Alternativa 2 (\$39,9 millones de USD) la de menor costo y la Alternativa 3 (\$46,7 millones de USD) la de mayor costo. En cuanto a operación, mantenimiento y materiales, la Alternativa 3 es la que menor costo muestra (\$1,17 millones de USD). El consumo de energía es mayor en para la Alternativa 2 (\$1,67 millones de USD) mientras que la Alternativa 1 es la de menor costo de energía (\$1,33 millones de USD).

4.2.3 Eficiencias de tratamiento con modelación, utilizando GPS-X

GPS-X es una herramienta avanzada para el modelamiento matemático, simulación, optimización y gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales. Desarrollado por Hydromantis, que es una compañía líder en el desarrollo de software para plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales.

El software permite el ensamble fácil y rápido de un modelo de una planta de tratamiento, gracias a una base de datos completa de procesos. Requiere además el ingreso de los datos de caracterización provenientes del influent advisor y ejecuta simulaciones.

También permite el desarrollo y optimización de sistemas avanzados, predice la calidad del efluente bajo varias condiciones, y puede ser utilizado para análisis de capacidad y planificación de plantas.

Datos de entrada

Los datos de entrada fueron tomados de la caracterización del agua residual mediante el uso del módulo influent advisor y de la configuración preliminar de los procesos realizada con el software CapdetWorks. Se utilizaron los datos de influent advisor correspondientes a las condiciones futuras de diseño de la PTAR, es decir proyectados al año 2050. Del dimensionamiento preliminar realizado

en CapdetWorks se tomaron los tamaños de los diferentes procesos y sus características y se construyó un modelo para cada una de las tres alternativas analizadas.

Se corrieron las simulaciones de las tres alternativas en GPS-X para obtener las eficiencias de los procesos y las posibles características del efluente. Todas las alternativas tuvieron los mismos datos iniciales de características del agua residual para que puedan ser comparadas en igualdad de condiciones. No se realizaron optimizaciones de los diseños preliminares resultados del modelo CapdetWorks.

Resultados de la modelación

Los resultados de la modelación que muestran las características del efluente de agua tratada para cada alternativa se describen a continuación. La Tabla 4-20 muestra una comparación algunos de los resultados de modelación de las tres alternativas analizadas.

Tabla 4-20: Resultados Modelación con GPS-X

Parámetro del Efluente	Unidad	Alternativa 1: Lodos Activados	Alternativa 2: Aireación Extendida	Alternativa 3: Filtros Percoladores
Caudal	L/s	1.200	1.200	1.200
DBO ₅	mg/L	6,03	3,15	18,6
DQO	mg/L	22,7	17,4	46,5
SST	mg/L	13,2	12,3	2,8
SSV	mg/L	6,2	4,0	1,5
Nitrógeno Total	mgN/L	26,6	1,41	17,1
Fósforo Total	mgP/L	0,24	0,20	0,32

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

De la modelación de las tres alternativas se observa que todas cumplirían con las condiciones del efluente que se muestra en la Tabla 4-23. Las alternativas 1 y 2 son las de mayor eficiencia en remoción de contaminantes, muestran concentraciones similares de contaminantes en el efluente, y es la Alternativa 2 la de mayor remoción de carbono, nitrógeno y fósforo. La Alternativa 3 tiene buena remoción de sólidos pero es la de menor eficiencia en la remoción de DBO₅, DQO y fósforo.

De acuerdo a estos resultados cualquiera de las tres alternativas podría tener un eficiente sistema de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo teniendo en cuenta que en el futuro podría existir requerimientos normativos de descarga de aguas residuales más exigentes, un sistema de tratamiento como los de las alternativas 1 y 2 tendrían mejor remoción de nutrientes.

4.2.4 Matriz de comparación

Las tres alternativas han sido desarrolladas con tecnologías de tratamiento probadas y utilizadas en muchos lugares del mundo. Los resultados de la evaluación técnica y económica dan valores muy similares entre las tres, siendo las características de implantación y de operación las que definen la aplicabilidad de las alternativas.

De las tres alternativas la alternativa 1, tratamiento con lodos activados, es la opción más robusta pues esta tecnología tiene más flexibilidad para tratar diferentes tipos de aguas residuales, puede ajustarse a

normativas más exigentes como para remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo. El sistema mediante la alimentación escalonada y aireación con difusores puede crear zonas anóxicas y aerobias para obtener nitrificación y desnitrificación en el mismo sistema, si en el futuro es necesario esta condición. En consecuencia la capacidad de resiliencia es mucho más grande para esta alternativa.

El sistema de aireación escalonada permite distribuir la carga de sólidos de manera que se obtiene una demanda de oxígeno uniforme en los reactores. Además permite que los caudales picos pueden derivarse al último pase de los reactores y minimizar la carga de sólidos en los sedimentadores. Sin embargo es un sistema más complejo de diseñar y de operar comparado con las otras dos alternativas.

El tratamiento de aireación extendida en zanjas de oxidación es el que presentó mejor remoción y calidad del efluente. Por el extenso tiempo de remoción hidráulica y mezcla rápida permite minimizar el impacto de cargas tóxicas o sobre cargas hidráulicas repentinas sin comprometer la calidad del efluente. Además produce menor cantidad de lodos que otros sistemas biológicos y bien estabilizados. La desventaja más grande es que requiere de más área para la instalación de los reactores biológicos. El consumo de energía es mayor especialmente en aireación. Tampoco es tan flexible como el sistema de lodos activados y su expansión en capacidad o sistema de tratamiento es más complicada. Algunas modificaciones a su sistema de tratamiento para reducir el espacio de implantación o mejorar sus características han sido desarrolladas por industrias privadas y pueden resultar caros de implementar.

La alternativa de filtros percoladores es una tecnología que ha sido utilizada por cerca de 100 años para el tratamiento de aguas residuales. Es un sistema simple y confiable, para su operación no es necesario de muchos conocimientos y experiencia técnica. Tiene buenos rendimientos en el control de material orgánico y si se utilizan medios plásticos para la creación de la bio-película su eficiencia es mayor. Reduce rápidamente el DBO₅ soluble y las unidades pueden ser eficientes para nitrificación. Sin embargo no es un sistema flexible para ser expandido en su capacidad o para normativas más exigentes de tratamiento y es posible que requiera tratamientos adicionales. Este sistema presenta frecuentes problemas de olores y de presencia de roedores, insectos y otros vectores. Para el control de olores y vectores es posible que se necesite cubrir los tanques e instalar un sistema de control de olores lo cual aumentaría el costo de construcción de esta alternativa. Es alta la incidencia de obstrucciones. Por lo tanto es necesario que se preste mucha atención a su operación. Este ha sido una tecnología utilizada más en comunidades pequeñas o medianas.

La Tabla 4-21 muestra una comparación entre las alternativas considerando cuatro características principales: área de instalaciones, posibilidad de implantación, costo de construcción y costo de ciclo de vida.

Tabla 4-21: Matriz de Comparación de Alternativas

Parámetro del Efluente	Alternativa 1: Lodos Activados	Alternativa 2: Aireación Extendida	Alternativa 3: Filtros Percoladores
Área de Implantación	1,48 ha	1,85 ha	1,59 ha
Posibilidad de Implantación en el sitio	Si es posible implantar los procesos	No es posible implantar las zanjas de oxidación	Si es posible implantar los procesos
Costo de construcción	\$43.600.000	\$39.900.000	\$46.700.000
Costo de ciclo de vida	\$77.000.000	\$76.800.000	\$79.000.000
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> Menor área de implantación de las instalaciones. Las instalaciones pueden ser emplazadas en el área disponible. Remoción de contaminantes de acuerdo con las exigencias del efluente. Distribuye la carga de sólidos de manera que se obtiene una demanda de oxígeno uniforme. Sistema robusto y probado adaptable a diferentes tipos de aguas residuales. La alimentación escalonada lo convierte en un sistema flexible para ajustarse a diferentes condiciones operativas, inclusive procesos anóxicos y aerobios. Los flujos picos pueden derivarse al último de los reactores y minimizar la carga de sólidos en los sedimentadores. Menor consumo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso muy confiable de operación simple. Menores costos de operación y mantenimiento. Presenta la mayor remoción de contaminantes y mejor calidad del efluente. No requiere tratamiento primario. Los tiempos extendidos de retención hidráulica y la mezcla completa permite minimizar el impacto de cargas tóxicas o sobre cargas hidráulicas repentinas sin comprometer la calidad del efluente. Sistema adaptable para remoción de nutrientes. Produce lodos bien estabilizados. Produce menos lodos que los otros procesos biológicos. Menor costo presente. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema biológico simple y confiable. Muy efectivo en el tratamiento de altas concentraciones de material orgánico, dependiendo del tipo de medio filtrante. Medios filtrantes plásticos brindan mejores eficiencias en el tratamiento. Reduce rápidamente el DBO₅ soluble. Unidades eficientes para nitrificación. Elementos de procesos durables. Bajos requerimientos de energía. Nivel moderado de conocimientos y experiencia técnica para la operación del sistema.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> Mayores costos de construcción. Sistema más complejo de operación y mantenimiento. Sistema de aireación más complejo para diseñar. Posibilidad de aumento de volumen de lodos filamentosos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor área requerida para la instalación de las zanjas de oxidación. Requiere mayor energía de aireación. La expansión de la capacidad de la planta es más complicada. Apropiado para comunidades pequeñas o medianas. Las zanjas de oxidación no pueden emplazarse en el sitio disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> Mostró la menor eficiencia en la remoción de contaminantes de las tres alternativas. Flexibilidad y control del sistema es limitado. Es posible que se necesiten tratamientos adicionales para cumplir con normativas de descarga más exigentes. Mayor atención en su operación. Alta incidencia de obstrucciones. Problemas de olores y vectores. Problemas con caracoles. Apropiado para comunidades pequeñas o medianas. Mayor costo de construcción y mayor costo de vida útil.

4.2.5 Conclusiones y Recomendaciones

- Las tres alternativas estudiadas son sistemas probados y muy utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Es así que los resultados de remoción de contaminantes comprueban que las tres alternativas pueden tratar el agua residual de la ciudad de Cuenca y cumplir con los requerimientos normativos del efluente.
- Las mayores diferencias de las alternativas están en el área requerida para su implantación, la resiliencia de los procesos de tratamiento para adaptarse a normativas futuras más exigentes y los costos de ciclo de vida.
- La Alternativa 1 es la que menor área de implantación requiere, de acuerdo al dimensionamiento preliminar del modelo.
- Las Alternativas 2 y 3 requieren de mayor espacio para la implantación de sus instalaciones. En la Alternativa 2, en el sitio del proyecto, no se pudo emplazar el área requerida para las zanjas de oxidación. Aunque en la Alternativa 3 se ubicaron los filtros en el sitio del proyecto, su posición muy cerca de los taludes proyectados, pudieran ocasionar problemas de estabilidad. Los planos de los esquemas de tratamiento e implantación de las tres alternativas estudiadas se muestran al final del Anexo 6.
- La Alternativa 2 es la que logró la mayor remoción de contaminantes y mejores condiciones del efluente, sin embargo la diferencia con las características del efluente de la Alternativa 1 es pequeña. La Alternativa 3 es la que mostró la menor eficiencia de remoción de contaminantes.
- El sistema de lodos activados con alimentación escalonada de la Alternativa 1, es el más flexible en su operación, tiene la capacidad de adaptarse a diferentes tipos de agua residual, permite tener una distribución más uniforme del oxígeno disuelto y además puede ajustarse a diferentes condiciones operativas, inclusive procesos anóxicos y aerobios para remoción de nutrientes.
- La Alternativa 2 también es adaptable para remoción de nutrientes. Mientras que la Alternativa 3 no es un sistema flexible y es posible que se necesiten tratamientos adicionales para lograr remoción de nutrientes.
- La capacidad de expansión de las Alternativas 2 y 3 es más complicada que para la Alternativa 1. Además se tienen experiencias que indican que el sistema de Filtros Biológicos ha sido sustituido por el sistema de Lodos Activados.
- El mayor costo de construcción es el de la Alternativa 3 (\$46,7 millones de USD), su mayor rubro son las torres de filtros. Mientras que la Alternativa 2 tiene el menor costo de construcción (\$39,9 millones de USD).

- Los costos de operación, mantenimiento y materiales son menores para la Alternativa 3 (\$1,17 millones de USD), pues es el sistema de menores requerimientos operativos.
- El sistema de lodos activados es el de mayor costo de operación y mantenimiento presenta (\$1,37 millones de USD).
- Los requerimientos de energía son mayores para la Alternativa 2, en comparación con las otras alternativas, lo que se refleja en un mayor costo de ciclo de vida.
- Para el cálculo del valor presente se consideró el costo de construcción actual y los costos de operación, mantenimiento, materiales y consumo de energía durante el ciclo de vida del proyecto. Los resultados dieron costos presentes muy cercanos entre las tres alternativas.
- La Alternativa 2 que corresponde al tratamiento con aireación extendida es la que muestra el menor valor presente de \$76,8 millones de USD. Para la Alternativa 1 se obtuvo un valor presente muy cercano, \$77 millones de USD, es decir una diferencia de \$200.000 USD entre las dos alternativas; mientras que, la Alternativa 3 tiene el mayor costo presente \$79 millones de USD.

De acuerdo con los resultados de la modelación y el dimensionamiento preliminar de las tres alternativas, y como se mostró en las figuras de implantación de alternativas, el sistema que puede emplazarse en el área del proyecto es el de lodos activados, correspondiente a la Alternativa 1, la Alternativa 3 de Filtros Biológicos podría caber en el sitio previsto con ajustes adicionales, en tanto que la Alternativa 2 de Aireación Extendida requiere de un área mayor a la disponible. La Alternativa 1 cumple con los requerimientos normativas de calidad del efluente y tiene mucha flexibilidad para ajustar su operación a normativas futuras más exigentes y posiblemente remoción de nutrientes. Económicamente también es una opción más viable que la alternativa 3 por costos. En base a todo este análisis, la recomendación que el Consorcio a ETAPA-EP sobre la tecnología de tratamiento de aguas residuales para la nueva PTAR Guangarcucho es la que corresponde a la Alternativa 1, es decir un sistema de tratamiento mediante lodos activados con alimentación escalonada. Esta recomendación fue aceptada por la Administración de ETAPA EP y por Fiscalización, y en consecuencia, los diseños definitivos de la PTAR Guangarcucho han sido elaborados con la tecnología de Lodos Activados con alimentación escalonada.

4.3 Determinación de las bases de diseño

Durante la Fase I, para la determinación de las bases de diseño se estudiaron los parámetros de diseño ya descritos en las secciones anteriores como caudales, y concentraciones. Se determinaron los caudales y cargas máximas a la PTAR proyectados al año 2050. Se realizó una modelación de la PTAR en GPS-X para optimizar el modelo desarrollado durante el análisis de alternativas. La modelación se realizó para cada proceso de la planta y de acuerdo a esta modelación se realizó el proceso de dimensionamiento de cada uno de ellos.

Se empezó con un análisis hidráulico de la planta que como resultado entregó el perfil hidráulico de la misma.

Luego para cada proceso se analizaron los componentes, equipo, tanques, bombas, tuberías, y se analizaron diferentes alternativas de los componentes. En base a la experiencia del Consorcio y de las

restricciones que presenta el sitio en espacio, en lograr tener una planta eficiente en su construcción y operación, con menores consumos de energía y que su operación sea lo menos compleja.

Los caudales de diseño, concentraciones, factores máximos y cargas para la PTAR Guangarcucho basados en las condiciones del año 2050, se presentan en la Tabla 4-22.

Tabla 4-22: Bases de Diseño del Proceso

Componente del Sistema		Promedio Diario	Máx. Mensual	Máx. Diario
1.	Cantidades de Agua Residual			
	Caudal, L/s	1.200	1.440	1.800
	Caudal mínimo diario, L/s	960		
	Caudal máximo diario, L/s	32,6		
	Caudal Máximo, L/s	2.400	2.400	2.400
2.	Características del Agua Residual			
	SST			
	mg/L	296	355	296
	kg/d	30.800	44.300	46.100
	SSVT			
	mg/L	160	192	160
	kg/d	16.600	19.900	24.900
	DBO ₅			
	mg/L	220	264	220
	kg/d	22.850	32.900	34.300
	DQO			
	mg/L	494	593	494
	kg/d	51.300	74.000	77.000
	NKT			
	mg/L	39,5	47,4	39,5
	kg/d	4.100	5.910	6.150
	Fósforo Total			
	mg/L	7,3	8,8	7,3
	kg/d	758	1.100	1.140
	Temperatura Promedio del Afluente, °C	18	-	-
	Temperatura del Afluente en verano, °C	20	-	-
	Temperatura del Afluente en invierno, °C	16	-	-
	pH promedio (rango)	7,1 (6,7 – 7,8)	-	-

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Las bases de diseño para las unidades de proceso usaron las cargas afluentes y los factores máximos descritos anteriormente.

Un modelo preliminar de la planta usando los criterios del afluente fue desarrollado para calcular las características de los sólidos que van a los digestores. Esto resultó en un rendimiento de los lodos

activados residuales de 0,85 (0,39 kg) a 1 lb (0,45 kg) de sólidos suspendidos totales por cada libra de DBO₅ removida. El valor de 1 lb (0,45 kg) por libra (0,45 kg) de DBO₅ removido fue usado en las bases de diseño. Este rendimiento es comparable con el valor para plantas operadas bajo condiciones de diseño similares con sedimentadores primarios.

La máxima carga mensual y la máxima carga diaria para la planta se basaron en datos disponibles de cargas y caudales desarrolladas a partir de información reciente. Las cargas hidráulicas se fundamentaron en datos históricos así como en factores típicos de 1,2 para el caudal máximo mensual y de 1,5 para el caudal máximo diario. Las temperaturas del agua residual consideran los valores históricos para la PTAR Ucubamba, así como en información proporcionada por la Fiscalización.

4.3.1 Requerimientos de calidad del efluente

Como base de los elementos de diseño, la calidad del efluente para el sistema de tratamiento de aguas residuales fue establecido para la PTAR Guangarcucho. La Tabla 4-23 presenta un resumen de los requerimientos estándares para el efluente de la planta.

Tabla 4-23: Bases de Diseño del Efluente

Características del Efluente		Promedio Diario
DBO ₅ , mg/L		≤ 25
SST, mg/L		≤ 35
Coliformes NMP/100ml	Fecales,	≤ 1000
Nitrógeno Total, mg/L		-
Fósforo Total, mg/L		-
pH		6-9

Fuente: ETAPA EP

Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

El objetivo principal del proyecto es proponer las instalaciones que permitan cumplir los requerimientos del efluente para la remoción de contaminantes convencionales de Demanda Bioquímica de Oxígeno 5-días (DBO₅), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y eliminación de patógenos.

Al respecto, de ETAPA EP, mediante oficio Oficio No. 2016-181-ARB del 18 Nov. 2016, se indica que uso de agua del río Cuenca, en el tramo comprendido entre la futura descarga de la PTAR Guangarcucho y la junta con el río Burgay, es para riego. En este sentido, está previsto que el efluente de la PTAR Guangarcucho tendrá un contenido de coliformes fecales menor a 1.000 NMP/100 ml; a la vez, es importante que, la calidad del río Cuenca, aguas arriba de la unión con el efluente de la PTAR Guangarcucho, también cumpla con las condiciones requeridas para uso deriego.

4.3.2 Configuración de la planta de tratamiento

Las unidades de procesos requeridas para tratar el afluente de agua residual y alcanzar los estándares para la descarga al río Cuenca desde la PTAR Guangarcucho son los siguientes:

Unidades de Procesos

- Cajón de ingreso, pozo de gruesos, cribas gruesas, cribas finas, estación de bombeo inicial.
- Tratamiento preliminar: desarenadores tipo vórtice.
- Sedimentadores primarios: asentamiento por gravedad para eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y la DBO₅ particulada.
- Sistema de tratamiento secundario: sistema de tratamiento de aguas residuales por lodos activados incluida la capacidad de alimentación escalonada (por etapas). El sistema de sopladores provee aire comprimido para el sistema difusores tipo membrana en las zonas aeróbicas. Los sedimentadores secundarios permiten el asentamiento por gravedad de los sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) para el retorno de los sólidos (lodos activados de retorno RAS) hacia el bioreactor para mantener las concentraciones del licor mezclado en el bioreactor o el lodo residual para mantener el tiempo de retención de sólidos deseado. El sistema de alimentación escalonada proporciona flexibilidad de operación durante eventos de clima lluvioso para prevenir el lavado de sólidos y preservar un continuo cumplimiento de calidad del efluente.
- Desinfección: radiación ultravioleta.
- Espesadores a gravedad: espesadores del lodo primario por asentamiento a gravedad.
- Espesadores banda por gravedad: espesamiento del lodo de desecho (WAS) mediante el sistema mecánico de bandas tamizadoras.
- Digestores anaeróbicos: estabilización de sólidos crudos bajo condiciones mesofílicas (35 °C).
- Almacenamiento del lodo digerido: permite la compactación del lodo y la decantación del lodo sobrenadante.
- Deshidratación centrífuga: alcanza grandes concentraciones de sólidos mediante la remoción de agua en el lodo digerido a través de la fuerza centrífuga.
- Almacenamiento de biosólidos: Plataforma de depósito de biosólidos para ser transportados por volquetas a su disposición final, el relleno sanitario.

Basado en los procesos para el tratamiento de aguas residuales y sólidos, un plano de distribución fue elaborado en el sitio disponible. El sitio está limitado por vías adyacentes y el río Cuenca. El plano de distribución se muestra en la Figura 4-8.

Figura 4-8: Implantación de la PTAR-G en el sitio del proyecto



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

4.3.3 Descripción de los componentes de la Línea de Tratamiento del Agua

Los procesos de tratamiento de aguas residuales desde la entrada del influente hasta la salida del efluente son los siguientes:

- **Pretratamiento:** El sistema de pretratamiento considerado, comprende la llegada del afluente a través del interceptor hacia un cajón de ingreso, un pozo de gruesos, cribas de extracción de sólidos gruesos, cribas finas, una estación de bombeo y desarenadores.

El agua que llega desde el interceptor será conducida, hasta la estructura de trampa de sólidos de gran tamaño, luego, el flujo será llevado hacia las cribas de extracción de sólidos gruesos y luego pasará por las cribas finas y enseguida a la estación de bombeo que impulsará el agua hasta los dos desarenadores tipo vórtice.

- **Tratamiento Primario:** El efluente de los desarenadores se reparte a tres sedimentadores primarios para la remoción de sólidos suspendidos del agua residual cruda, materiales flotantes (natas y espumas) y remoción de una fracción de la carga orgánica antes del tratamiento secundario.
- **Tratamiento Secundario:** Conformado por tanques de aireación, con el correspondiente sistema de sopladores-difusores, seguidos de sedimentadores secundarios con recirculación de lodos biológicos a los tanques de aireación.

Desde los sedimentadores primarios, por medio de tuberías, se transportará el agua hacia los tanques de aireación. El efluente de los tanques de aireación se dirigirá hasta los sedimentadores secundarios. Desde los sedimentadores secundarios, los lodos activados serán recirculados hacia los tanques de aireación, en tanto que el agua será transportada hacia la desinfección.

Se han diseñado cuatro tanques de aireación y cuatro sedimentadores secundarios.

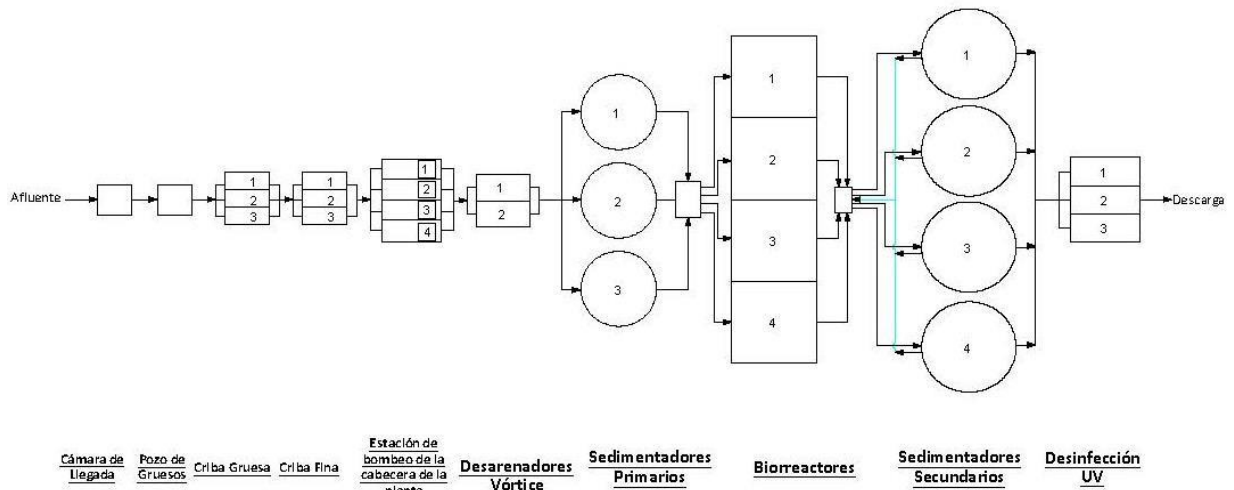
- **Desinfección:** El sistema de desinfección que tendrá la planta corresponde a la desinfección ultravioleta (UV).

Descarga Final: El efluente de la desinfección, será conducido hacia su descarga en el río Cuenca, pasando por un vertedero de medición de caudal y por una cascada para disipar la energía.

Además, como parte de los procesos de tratamiento del agua, se tendrán dos sistemas de control de olores. El primer sistema para el tratamiento de los olores generados en los cuartos de las cribas y estación de bombeo inicial, y el segundo sistema para el control de olores de los desarenadores.

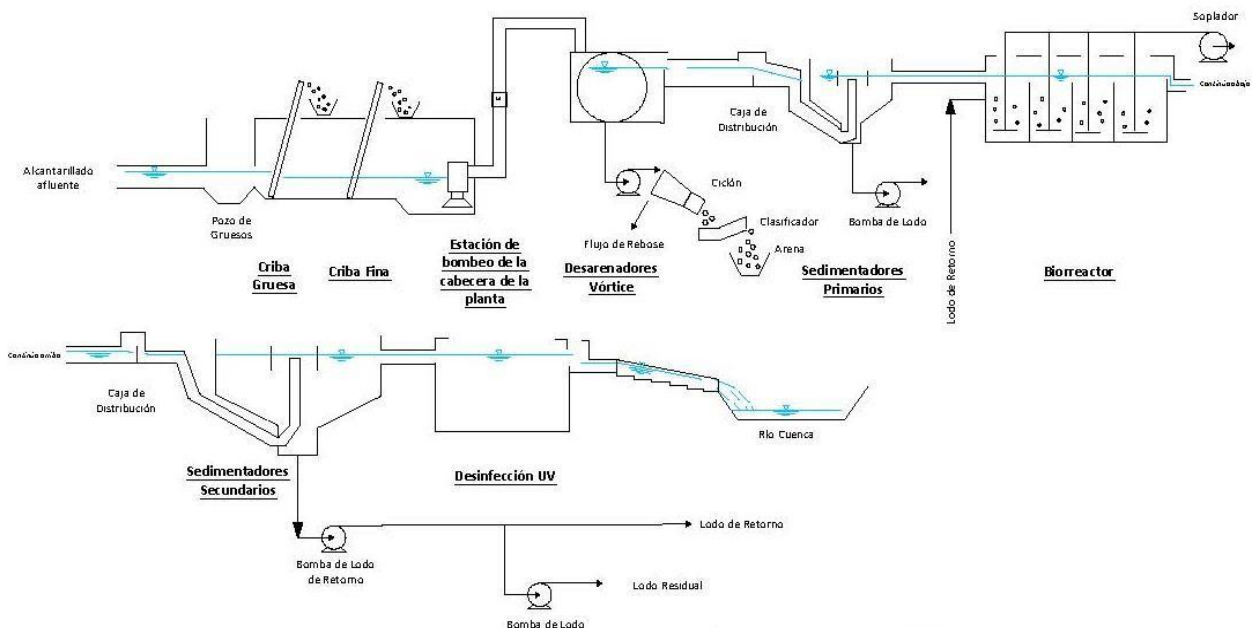
En la Figura 4-9, se presenta el diagrama general de los procesos y flujos de la planta con sus interconexiones, en tanto que en las Figuras 4-10 a y 4-11 se muestran los diagramas de flujo para el tratamiento del agua de PTAR Guangarcucho y a continuación se realiza la descripción de cada una de las componentes de tratamiento del agua, considerando la codificación numérica presentada en las Figuras 4-8 y 4-9.

Figura 4-10: Diagrama del flujo de agua de la PTAR Guangarcucho



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

Figura 4-11: Esquema del flujo entre los procesos de tratamiento de agua de la PTAR-G



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen – ACSAM

Cajón de ingreso (Componente 1)

El agua de la planta de tratamiento Guangarcucho llegará a través de dos interceptores denominados XII-B y XIIB', respectivamente desde la margen izquierda y margen derecha del río Cuenca. Estos interceptores se juntan en un cajón construido en la margen derecha. A partir de este cajón se inician las obras de la PTAR.

Hasta el final del período de la realización de los diseños de la PTAR, al cajón existente llegan solamente las tuberías de la margen izquierda, es decir, las correspondientes al interceptor XII-B. Este interceptor se conecta en el cajón construido mediante dos tuberías de diámetro 1000 mm, cada una con una compuerta de control. El cajón existente cuenta además con dos tuberías de 900 mm con dirección al río Cuenca que, hasta que se construya la PTAR sirve como descarga final de los interceptores mencionados. El interceptor construido XIL-B, de la margen izquierda, dispone de un cajón de carga con una tubería de entrada y con las dos tuberías de salida de 1000 mm controladas por compuertas, y que atraviesan, mediante un sifón, por debajo del río Cuenca hasta llegar al cajón construido de la margen derecha, que es la estructura, desde la cual se inician las obras de la PTAR Guangarcucho. Es recomendable que, de acuerdo a los diseños proporcionados por ETAPA EP, en el cajón de carga de este interceptor se complete con la instalación de la tubería de alivio de 1000 mm con dirección al río Cuenca. Esta tubería de alivio permitirá desviar el agua hacia este cuerpo receptor mientras se construyen algunas obras de la PTAR Guangarcucho.

Junto al cajón existente se han diseñado dos cajones adicionales, el primero, con un vertedero rectangular que faculta regular el caudal de ingreso a la PTAR, mantener las dos tuberías existentes que se dirigen al río de diámetro 900 mm y colocar una válvula elastomérica unidireccional que evite, durante las crecidas, que el agua del río ingrese al cajón existente y en consecuencia a la PTAR. El vertedero en su borde superior cuenta con una lámina de acero inoxidable, con orificios alargados y pernos de sujeción, de forma que permitan la calibración de su altura a una posición fija. El nivel del vertedero deberá garantizar que ingrese a la PTAR el caudal normal medio y sus variaciones horarias, correspondiente al período seco y al año de operación. A unos cuatro metros del cajón existente se ha diseñado el segundo cajón que tendrá la función de orientar el flujo hacia los procesos de pretratamiento y que contará con una compuerta que generalmente estará abierta y permitirá impedir el ingreso del agua a la PTAR en las ocasiones que esta acción sea necesaria.

Cajón de unión (Componente 1a)

Este componente ha sido diseñado para direccionar el flujo desde el Cajón de ingreso hacia las unidades de pretratamiento.

Pozo de Gruesos (Componente 1b)

El pozo de gruesos tiene la función de retener los materiales de mayor peso, así como los de arrastre y flotantes más voluminosos para evitar que estos dificulten la llegada del agua residual al resto de la planta.

Los residuos acumulados en esta unidad serán extraídos por medio de una cuchara bivalva, que es un equipo prefabricado en acero, y depositados en un contenedor para luego ser trasladados al relleno sanitario por medio de un vehículo transportador del contenedor, diseñado específicamente para este trabajo y que tiene características similares al vehículo que cumple con esta función en la PTAR Ucubamba.

Rejas Gruesas (Componente 2a)

En total hay tres canales del cribado grueso para el afluente. Cada canal incluye una criba con rastrillo mecánico de 38 mm de apertura con una capacidad nominal de 1.200 L/s. Normalmente funcionará una o dos cribas, disponiéndose de una tercera criba como una unidad de reserva.

El Cuarto de Rejas es confinado y ventilado para poder efectuar el control de olores. El aire evacuado del Cuarto de Rejas se lleva a las Instalaciones para Control de Olores, ubicadas junto al cuarto de

rejas. El cuarto de Rejas es considerado como un lugar peligroso debido a que el aire está directamente en contacto con las aguas residuales crudas.

Para ingresar al interior del cuarto de rejas se debe seguir el protocolo de seguridad de un espacio confinado, siendo obligatorio utilizar un medidor de gases y de calidad de aire para determinar que el aire dentro de este lugar es idóneo y es factible el acceso sin peligro para la salud y la vida.

Los residuos acumulados en esta unidad serán extraídos y luego enviados al relleno sanitario.

Rejas Finas (Componente 2b)

En total hay tres canales del cribado fino para el afluente. Cada canal incluye una criba con rastrillo mecánico de 6 mm de apertura con una capacidad nominal de 1.200 L/s. Normalmente funcionará una o dos cribas, disponiéndose de una tercera criba como una unidad de reserva.

El Cuarto de Rejas es confinado y ventilado para poder efectuar el control de olores. El aire evacuado del Cuarto de Rejas se lleva a las Instalaciones para Control de Olores, ubicadas junto al cuarto de rejas. El cuarto de Rejas es considerado como un lugar peligroso debido a que el aire está directamente en contacto con las aguas residuales crudas, debiendo, en caso de querer ingresar a su interior, tomarse las mismas precauciones que las señaladas para el caso de las rejas gruesas.

Los residuos acumulados en esta unidad serán extraídos y luego enviados al relleno sanitario.

Estación de Bombeo Inicial (Componente 3)

El agua residual que ha sido filtrada fluirá hacia las bombas de la Estación de Bombeo Inicial compuesta por cuatro bombas sumergibles del mismo tamaño, de las cuales tres bombas estarán activas y trabajando y una en reserva. El pozo húmedo ha sido dividido en dos secciones, cada una, con dos bombas, lo que facilitará el mantenimiento. Compuertas deslizantes a la entrada permitirán separar cada mitad del pozo húmedo para asuntos de limpieza o mantenimiento. Cada bomba está diseñada para un caudal de 800 L/s.

El pozo húmedo es confinado y ventilado para poder efectuar el control de olores. El aire evacuado del Cuarto de Rejas se lleva a las Instalaciones para Control de Olores, ubicadas junto al cuarto de rejas, debiendo, en caso de querer ingresar a su interior, tomarse las mismas precauciones que las señaladas para el caso de las rejas gruesas.

A continuación del pozo húmedo se tiene, el cuarto seco con el múltiple para recibir a las tuberías de las cuatro bombas y equipado, entre otros accesorios, con válvulas de mariposa, válvulas check, juntas de desmontaje y el inicio de las tuberías de impulsión hacia los desarenadores. Estos elementos permitirán la operación, mantenimiento y control de las bombas.

Línea de Impulsión: Bombeo Inicial – Desarenadores

La estación de bombeo de agua cruda impulsa el agua hacia los desarenadores mediante dos tuberías de hierro dúctil, la una de diámetro 900 mm y la otra de 1.200 mm, cada una de una longitud de unos 96 m. La tubería de 900 mm tiene capacidad para conducir 800 L/s y la de 1.200 mm 1.600 L/s, lo que da en total los 2.400 L/s que es el caudal máximo instantáneo.

Se han diseñado tuberías de diferente diámetro (900 mm y 1.200 mm) debido a que, los caudales a tratar en la planta, durante su período de diseño, en algunos años, será menor a los 1.200 L/s, e

inclusive inferior a los 800 L/s, debiendo en esos períodos funcionar solamente la tubería de 900 mm y así, las velocidades de circulación por esta conducción, serán adecuadas.

Luego del cuarto de válvulas de la estación de bombeo inicial se ha diseñado una cámara provista con una válvula de desagüe para la limpieza ocasional de cada tubería de impulsión; además una válvula controladora de sobrepresión, en cada tubería, para el control de transitorios. Las descargas de los desagües y el agua de las tuberías de control de sobrepresión se recogerán en este mismo cuarto y se conducirán de regreso hacia el pozo húmedo de la estación de bombeo inicial.

Para medir el caudal que circula por cada tubería se ha previsto la instalación de un medidor en cada tubería, que estarán ubicados en una caja cerca de la caja de desagües y control de sobrepresiones.

Desarenadores tipo vórtice (Componente 4)

Para la planta de Guangarcucho se ha previsto dos tanques desarenadores tipo vórtice. Cada desarenador tendrá una capacidad de 1.305 L/s.

Los tanques desarenadores están diseñados para inducir un vórtice que mejorará la separación y remoción de arenas y proveerá aproximadamente entre 3 a 5 minutos de tiempo de retención bajo un flujo promedio diario igual a 1.200 L/s. Este tiempo de retención será lo suficientemente largo para sedimentar la arena del agua residual cruda filtrada. Los tanques desarenadores tipo vórtice son diseñados con un fondo de la tolva cónico para la remoción de arenas a través del sistema combinado de bombeo y tuberías. Natas y espumas superficiales pasarán a través de los tanques desarenadores para recolectarse en los sedimentadores primarios.

Para retirar las arenas de los desarenadores se tendrá un sistema de bombeo compuesto por dos bombas para cada desarenador, de las cuales, una estará en funcionamiento y otra bomba estará en reserva. Se debe mantener una bomba de reserva debido a las condiciones abrasivas que se presentan al bombear la mezcla de arena y agua, que hacen esperar que el mantenimiento se presente con gran frecuencia. Las bombas de arenas transportan la mezcla de arena y agua recogida de cada tanque, hacia el equipo de lavado de arenas. Las arenas de esta unidad serán enviadas al relleno sanitario.

En este componente, se cuentan con cuatro compuertas, dos de las cuales se ubican a la salida de las tuberías de impulsión desde la estación de bombeo inicial y dos que controlan los canales de ingreso hacia cada uno de los desarenadores. Se disponen además de stop logs, localizados en varios lugares y que fundamentalmente permitirán el mantenimiento de las válvulas y la distribución del agua hacia los sedimentadores primarios, en la estructura denominada precisamente Arqueta de Reparto a los Sedimentadores Primarios, que se localiza enseguida de los desarenadores.

Sedimentadores primarios (Componente 5)

El agua residual cruda después de la remoción de las cribas y la remoción de arena entra en los sedimentadores primarios desde un sistema de distribución de flujo ubicado luego de los desarenadores tipo vórtice (Arqueta de Reparto a los Sedimentadores Primarios). Los sedimentadores primarios remueven los sólidos suspendidos del agua residual cruda, materiales flotantes, y una fracción de la carga orgánica antes del tratamiento secundario.

La sedimentación primaria es un proceso físico que puede remover del 20 - 35% de DBO_5 y del 40 - 60% de los SST. En la planta de Guangarcucho, se espera una remoción de DBO_5 del 30% y de SST del 50%.

La PTAR contará con tres sedimentadores primarios circulares de diámetro igual a 35 m y un nivel de agua de 4 m que incluyen un sistema colector central de lodos. Cada sedimentador está equipado con un vertedero de rebose y canaleta del efluente, y bombeo del sistema lodos primarios para remover el lodo del fondo de la tolva del sedimentador. Cada sedimentador primario es alimentado y controlado por una tubería independiente.

Las aguas residuales entran al tanque y la velocidad del líquido se reduce enormemente. Esto permite que los sólidos se sedimenten y se acumulen en el fondo del tanque. Las aguas residuales salen del tanque fluyendo sobre un vertedero. Los mecanismos barrelosos, en el fondo del tanque, mueven los lodos que se acumulan en la parte inferior, hacia un sumidero para poderlos bombear como una mezcla pastosa. De acuerdo a los diseños, para el caudal de 1.200 L/s, la velocidad de sedimentación es igual a 0,04 cm/s.

Remoción de natas y espumas

Durante el proceso de sedimentación, las natas y espumas flotan hacia la superficie. Las natas y espumas son movidas por brazos desnatadores que se agarran a brazos barrelosos de lodos. La espuma y las natas son removidas de la superficie del agua antes del deflector, son colocadas en la superficie en frente de los vertederos del efluente, y depositadas dentro de una cámara de recolección de espumas, para posteriormente ser bombeadas hacia el tanque Concentrador de natas y espumas.

El bombeo de natas y espumas de cada sedimentador está compuesto por dos bombas, una en funcionamiento y una en reserva. El funcionamiento de estas bombas será programada en el sistema SCADA para operación alternada.

Remoción de lodos primarios

De la sección inferior de la tolva de la sedimentación primaria, el lodo será retirado por medio de un sistema de tubería hacia una estación de bombeo. La estación de bombeo de lodo primario, de los tres sedimentadores, está compuesto por tres bombas en funcionamiento y una de repuesto. El funcionamiento de estas bombas será programada en el sistema SCADA para operación alternada. Mediante la estación de bombeo se transportarán los lodos hacia los tanques espesadores de lodos primarios.

Reactores biológicos (Componente 6)

El sistema de tratamiento secundario de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guangarcucho incluye los siguientes seis procesos principales:

- Reactores biológicos: usado para contactar la biomasa con el efluente primario. Remueve los componentes solubles tales como DBO₅ y nutrientes.
- Sedimentadores secundarios: separa componentes particulados del agua antes de la desinfección.
- Sopladores: proveen aire presurizado al sistema de difusión de aire que se encuentra dentro de los biorreactores.
- Bombas para la recirculación de lodo activado (RAS): recircula la biomasa que se sedimenta de los sedimentadores finales hacia la cabeza del biorreactor.
- Bombas de Lodos Activados de Desecho (WAS): retira el exceso de biomasa del sistema para mantener óptimas condiciones de operación, tales como la relación de comida - masa (food to mass ratio) y la edad de lodos.

- Bombas para Natas y Espumas: bombea los sólidos flotantes de los sedimentadores secundarios para transferirlos al concentrador de Natas y espumas.

Los Sistemas de Lodos Activados utilizan el tratamiento biológico para reducir aún más la cantidad de DBO₅ y de SST. Aquí los microorganismos se utilizan para consumir los contaminantes y formar una masa creciente y activa de nuevos microorganismos. Los microorganismos se separan de las aguas residuales por sedimentación mientras que una parte se recicla como lodos activados de retorno.

En los Tanques de Aireación o Reactores Biológicos es donde se cultivan los microorganismos. Existen cuatro tanques de aireación. La materia orgánica del influente al proceso sirve de alimento para los organismos. Se suministra aire por medio de los sopladores para que los organismos puedan respirar. A la mezcla de microorganismos y lodos en los Tanques de Aireación se le denomina licor mezclado. El licor mezclado pasa a los Tanques de Sedimentación Secundaria donde a los organismos se les permite sedimentarse en tanques circulares. Mecanismos de raspadores mueven los lodos sedimentados a un sumidero central donde se retiran de los tanques por medio de las Bombas de Lodos de Retorno ubicadas en el edificio denominado “Bombeo de Decantación Secundaria”. Una parte de los lodos se devuelve a los Tanques de Aireación para que hagan contacto con las aguas residuales que entran (estos son los lodos activados de retorno o RAS), pero debido a que durante el proceso se cultivan más microorganismos, algunos deben ser evacuados. Los lodos evacuados se denominan Lodos Activados de Desecho (WAS).

El proceso de aireación en los tanques es configurado como un sistema de alimentación escalonada al reactor con cuatro diferentes puntos de alimentación o pases dentro de cada tanque de aireación.

El primer pase incluye la introducción de un flujo del licor mezclado que proviene de los sedimentadores secundarios. El segundo pase consiste de un efluente primario y flujo del primer pasaje. El tercer y cuarto pase, incluye una alimentación del efluente primario y flujo del segundo y tercer pase respectivamente.

El diseño del sistema aeróbico escalonado es primordialmente basado sobre el concepto de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno carbonácea (DBOC). La función de alimentación escalonada incrementa concentraciones del licor mezclado en el biorreactor y reduce las cargas en los sedimentadores para mejorar la capacidad y control de la sedimentación. Una de las causas más importantes en los problemas de sedimentación es una inadecuada cantidad de oxígeno en la primera zona aeróbica, lo que ocasiona micro-ambientes con bajo oxígeno. La aeración en los tanques está diseñada para crear rápidamente condiciones aeróbicas que minimicen este problema. Adicionalmente, si es necesario, un sistema de cloración del lodo activado de recirculación puede ser incluido con el propósito de mejorar aún más el control de la sedimentación. Aguas abajo de la primera zona aeróbica, los niveles de oxígeno disuelto pueden llegar a reducirse alcanzando valores hasta de 0,5 mg/L para conservar la energía en el soplador.

Sedimentadores Secundarios (Componente 8)

El diseño del tratamiento secundario incluye cuatro sedimentadores secundarios de diámetro igual a 40 m. Cada sedimentador, tendrá un nivel de agua de 5 m, un suelo inclinado del 12%, y deflectores para prevenir una corriente ascendente de sólidos sedimentados. Durante una operación normal, cada sedimentador está directamente conectado a un único tanque de aeración, y los lodos activados de recirculación serán retornados del sedimentador a ese mismo tanque. Los sedimentadores serán configurados con un sistema central de recolección de lodos. El agua que pasa por los sedimentadores, o efluente secundario, fluirá sobre el vertedero perimetral hacia una canaleta interior. La canaleta

inclinada direccionará el flujo hacia la cámara del efluente desde el cual el efluente podrá ser llevado a gravedad hacia el sistema de desinfección UV.

Los Tanques de Sedimentación Secundario remueven los lodos por asentamiento gravitacional. Las condiciones que permiten el asentamiento gravitacional también permiten que las natas y espumas se acumulen en la superficie. Los sólidos que se asientan en el fondo de los Tanques de Sedimentación Secundaria son transportados por el sistema de recolección de lodos hacia una tolva en el fondo de cada tanque. Las tolvas de cada tanque están unidas por medio de una red de tuberías, bombas y accesorios que se concentran en el edificio Bombeo de Decantación Secundaria que permitirá la recirculación de lodos hacia los rectores biológicos (RAS) y el lodo restante o de desecho (WAS) transportarlo hacia los Espesadores de Banda por Gravedad.

Remoción de natas y espumas

Durante el proceso de sedimentación, las natas y espumas flotan hacia la superficie. Las natas y espumas son movidas por brazos desnatadores que se agarran a brazos barredores de lodos. La espuma y las natas son removidas de la superficie del agua antes del deflector, y son colocadas en la superficie en frente de los vertederos del efluente, y depositadas dentro de una cámara de recolección de espumas, para posteriormente ser bombeadas hacia el tanque Concentrador de natas y espumas.

El bombeo de natas y espumas de cada sedimentador está compuesto por dos bombas, una en funcionamiento y una en reserva.

Remoción de lodos

De la sección inferior de la tolva de los sedimentadores secundarios, el lodo será retirado por medio de un sistema de tuberías hacia el Bombeo de Decantación Secundaria que permitirá la recirculación de lodos hacia los rectores biológicos (RAS) y el lodo restante o de desecho (WAS) transportarlo hacia los Espesadores de Banda por Gravedad.

Bombeo de Decantación Secundaria (Componente 7)

Se ha denominado como Bombeo de Decantación Secundaria a la estructura ubicada entre los sedimentadores secundarios, en la que se encuentra el bombeo de extracción de lodos desde los sedimentadores secundarios. En esta estructura se diferencian las bombas que permitirán la recirculación de los lodos hacia los reactores biológicos (RAS) y los lodos sobrantes o de desechos (WAS) que se conducirán hacia los espesadores de banda por gravedad (GBT's).

Para la recirculación de lodos habrá seis bombas, de las cuales, cuatro estarán trabajando y dos serán de repuesto. Cada sedimentador tendrá una bomba propia con velocidad ajustable y compartirá una bomba de repuesto con un sedimentador adyacente. Las bombas de recirculación de lodos descargarán normalmente en el primer pase del tanque biorreactor, permitiendo cuatro sistemas independientes de lodos activados. Cada una de las líneas de descarga del lodo de recirculación de los sedimentadores estará equipado con un medidor de flujo.

Para los lodos de desecho (WAS) se cuenta con cuatro bombas, con la instalación de dos bombas para dos sedimentadores, una funcionando y una en espera. Para cuantificar el lodo de desecho se ha previsto de dos medidores de caudal.

Desinfección UV (Componente 9)

Con el objeto de cumplir con los requerimientos de desinfección, el sistema se ha diseñado para tratar el efluente de los sedimentadores secundarios y cumplir un estándar de menos de 1.000 NMP de coliformes por 100 mililitros de muestra. Para Guangarcucho se ha considerado que el sistema más adecuado para este proceso es por medio de la Desinfección UV.

Para obtener una buena desinfección es necesaria una buena sedimentación de sólidos en los sedimentadores secundarios. El objetivo es mantener los sólidos suspendidos bajo 20 mg/L.

Las lámparas ultravioleta están colocadas en tres canales, dos en servicio activo y una en modo de emergencia. Los tres canales estarán en modo activo y funcionarán alternados, con cambios automáticos con una frecuencia diaria, pudiendo modificarse esa frecuencia mediante los temporizadores colocados para el efecto en los paneles de control SCADA. Las lámparas estarán inclinadas y escalonadas para una buena distribución de luz en la lámina de agua y están colocadas entre dos y cuatro bancos en serie para conseguir la muerte de patógenos. Lámparas ultravioleta adicionales son puestas en servicio cuando el flujo incrementa y las mismas se apagan cuando el flujo se reduce para ahorrar energía. Para las condiciones de diseño, las lámparas trabajarán con dos canales y un caudal medio de 1.200 L/s. Cuando el caudal se incrementa de este valor, se encenderán las lámparas adicionales. Durante todo el tiempo el número de lámparas en las unidades es suficiente para conseguir la muerte de patógenos. Las lámparas ultravioletas estarán equipadas con sensores de intensidad, y funciones in-situ de limpieza química y mecánica para mantener una operación eficiente.

Descarga final

Luego de que el agua pase por el proceso de desinfección, se tendrá la descarga final hacia el río Cuenca, mediante un canal rectangular abierto con un vertedero rectangular ajustable que permitirá conocer el caudal del efluente de la planta y finalmente una caída en cascada para que el agua llegue hasta los niveles bajos del río evitando la erosión de su orilla.

De acuerdo a los estudios hidrológicos del río Cuenca, proporcionados por ETAPA EP, en el punto de descarga de la PTAR, se ha estimado que el río tendrá un nivel igual a 2327,75 msnm para un período de retorno de 100 años. En el tanque de desinfección UV la altura de agua tendrá un nivel mayor al mencionado del río con lo que la descarga de la PTAR se producirá aún en estas condiciones de crecida del río.

4.3.4 Descripción de los componentes de la Línea de Tratamiento de Lodos

Los componentes para el tratamiento de los lodos generados en la PTAR Guangarcucho, desde las primeras unidades hasta su disposición final son los siguientes:

- **Espesamiento de lodos primarios:** Comprende el proceso de concentración de los sólidos removidos de los sedimentadores primarios previo al ingreso a los digestores. El objetivo es producir una concentración de sólidos de 4,5 al 6 por ciento. Los lodos sedimentados son recolectados y bombeados al tanque de espesamiento de lodos a gravedad. Se ha previsto la instalación de dos espesadores de lodos a gravedad.
- **Espesamiento de lodos activos de desecho:** Los lodos de desecho de los sedimentadores secundarios serán espesados antes de su digestión para reducir el volumen del tanque requerido para una adecuada estabilización de sólidos. Todos los lodos de desecho serán

espesados a través del uso de las bandas espesadoras a gravedad (GBTs). Se ha considerado la instalación de tres espesadores.

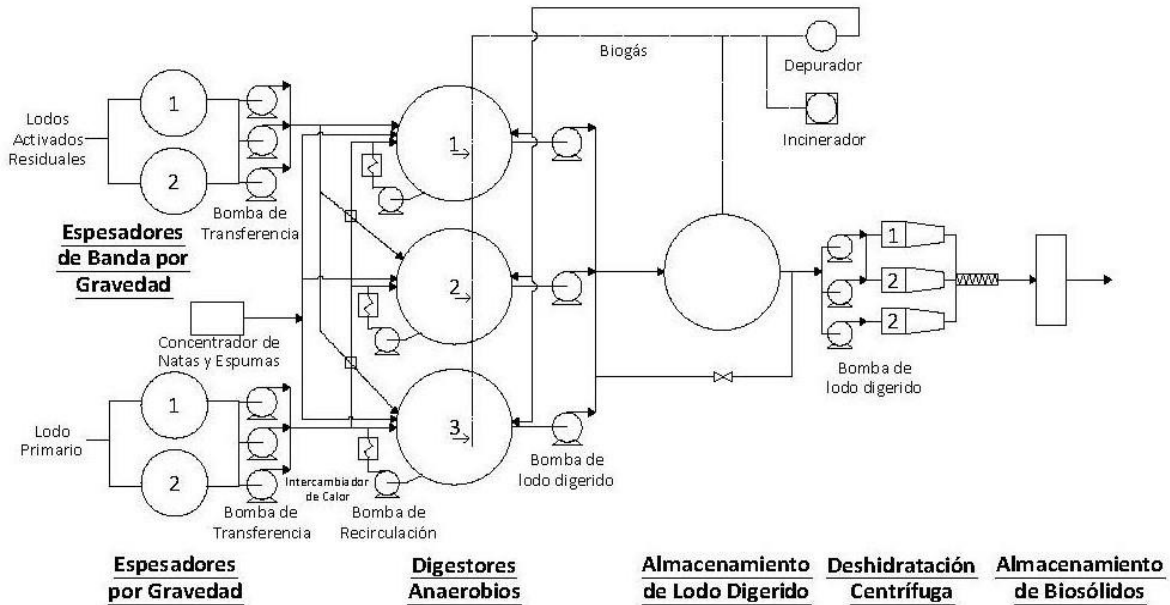
- Para la evacuación de las natas y espumas de cada sedimentador primario y secundario serán conducidos, por una estación de bombeo (en total siete bombeos), hacia un Concentrador de natas y espumas y desde aquí, también por bombeo, a los digestores.
- Digestión Anaerobia: Los lodos de los Espesadores de lodos primarios más los de los Espesadores de banda por gravedad, GBT's (lodos de desecho de los sedimentadores secundarios) y los provenientes del Concentrador de natas y espumas, pasarán al proceso de digestión que estabilizará los sólidos generados en el proceso de tratamiento de aguas residuales. El tiempo de retención mínimo requerido por los sólidos es de 15 días a temperaturas de al menos 35 °C para cumplir con los estándares de destrucción de patógenos y con una destrucción mínima de 38% de sólidos volátiles para cumplir los requisitos de reducción de atracción de vectores. Se tendrán tres digestores y un tanque de almacenamiento de los lodos digeridos.
- Deshidratación de biosólidos: Luego de la digestión, los lodos serán deshidratados por medio de un sistema de centrifugas, proceso mediante el cual, se podrá obtener una torta de concentración de sólidos alta (alrededor del 24%), y así, poder ser transportados con mayor facilidad hacia su destino final. En el diseño se han previsto tres centrifugas, una en funcionamiento, una de repuesto y una en reparación.
- Finalmente, los lodos deshidratados serán almacenados, como paso previo a su transporte hacia el relleno sanitario.

Además, como parte de los procesos de tratamiento de lodos, se tendrán tres sistemas de control de olores para el tratamiento de los olores generados en: los espesadores de lodos primarios; el segundo sistema para los olores de las bandas espesadoras a gravedad y de las centrifugas de deshidratación y, el tercero para el tanque Concentrador de Natas y Espumas.

A estas unidades, se deben sumar las relacionadas con el retiro de materiales de las unidades del pozo de gruesos, cribas gruesas, cribas finas y desarenadores analizadas en la sección anterior.

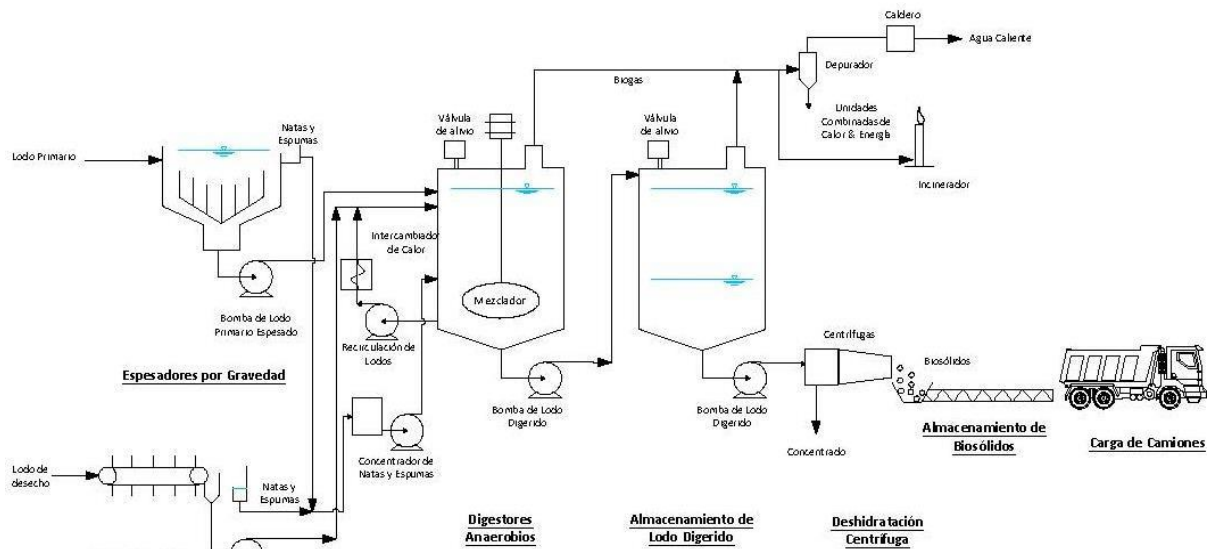
En las Figuras 4-12 y 4-13 se muestran los diagramas de flujo para el tratamiento de lodos de la PTAR Guangarcucho.

Figura 4-12: Diagrama del flujo de lodos de la PTAR Guangarcucho



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Figura 4-13: Esquema del flujo entre los procesos de tratamiento de lodos de la PTAR-G



Elaboración: Consorcio Greeley and Hansen - ACSAM

Espesamiento de lodos primarios (Componente 12)

El espesamiento de los lodos primarios se realizará en dos unidades de Espesadores de Lodos a Gravedad. En este proceso se concentran los sólidos removidos de los sedimentadores primarios previo a la descarga a los digestores.

Dos tanques operarán como espesadores a gravedad para concentrar los lodos primarios. Cada unidad consiste de un tanque cubierto de 12,5 metros de diámetro, con una profundidad de agua de 3 metros, equipado con un mecanismo de recolección para conducir los lodos espesados al centro del tanque para que sean removidos.

Los tanques serán cubiertos para control de olores. El aire maloliente será recolectado para su tratamiento.

El espesamiento por gravedad es efectuado en estructuras similares a los sedimentadores provistos de raspa lodos en el brazo, el cual está conectado a un castillete con paletas verticales que rodando y golpeando las partículas de lodo favorecen la expulsión de agua, la sedimentación y la compactación del sólido, mientras que, el agua expulsada es derramada en superficie.

Los sólidos de los sedimentadores primarios serán removidos y transportados hacia los espesadores por medio de una estación de bombeo ubicada cerca del auditorio.

Después de ingresar a los espesadores a gravedad los sólidos se acumularán en la zona de sedimentación y luego serán comprimidos por la presión de los sólidos más superficiales de la zona de desespesamiento. El agua desplazada fluye a través de los canales intersticiales de la matriz de sólidos hacia una zona de líquido clarificado en la superficie. El agua clarificada es recogida por la canaleta y enviada a gravedad al sistema de alcantarillado sanitario de la planta que tiene su descarga al inicio de la planta, concretamente en el Cajón de unión. Los sólidos concentrados son recolectados y removidos del fondo de los tanques espesadores y bombeados a los digestores.

Los lodos primarios llegarán a los espesadores con una concentración de aproximadamente 1 por ciento de sólidos secos y saldrán de los espesadores con una concentración de aproximadamente 4,5 por ciento de sólidos secos. Este espesamiento reduce significativamente el volumen del digestor. Para conducir los lodos desde los espesadores hasta los digestores se cuenta con una estación de bombeo que se encuentra ubicada en medio de los dos concentradores de sedimentadores primarios.

Espesamiento de lodos activos de desecho (Componente 19)

Los lodos de los sedimentadores secundarios serán espesados antes de su digestión y así reducir el volumen, de los digestores, requerido para una adecuada estabilización de sólidos. Todos los lodos de desecho serán espesados a través del uso de las bandas espesadoras a gravedad.

Desde la estructura reconocida como Bombeo de Decantación Secundaria, las bombas de lodos sobrantes o de desechos (WAS) transportarán los lodos hacia las Bandas Espesadoras a Gravedad (GBT's).

En el diseño se ha previsto la implementación de tres equipos de bandas espesadoras a gravedad.

El sistema de bandas espesadoras a gravedad incluirá un sistema de polímeros para promover una buena separación de sólidos y agua en las bandas. Tres sistemas de polímeros serán instalados en el edificio en el que se localizan las Bandas Espesadoras a Gravedad y las Centrífugas utilizadas para la

deshidratación de los lodos. De estos tres sistemas de polímeros, el primero servirá específicamente para las Bandas Espesadoras a Gravedad, el segundo para las Centrífugas y el tercero, de reserva para cualquiera de los dos procesos.

El traslado de la solución de polímero a los tanques de alimentación será mediante bombas. La solución de polímero será alimentada individualmente a cada banda espesadora a gravedad mediante una bomba alimentadora.

Cuando se utiliza acondicionamiento con polímeros, estos espesadores son muy efectivos para el espesamiento de lodos activados residuales, y típicamente se logra un 95% de captura de sólidos y concentraciones de sólidos espesados mayores al 5%.

En cada equipo de Banda Espesadora a Gravedad se tiene una cobertura para evitar que los olores se disipen en el edificio en el que están instaladas. El aire maloliente será recolectado para su tratamiento.

Los lodos espesados por las bandas serán trasladados mediante bombeo hacia los digestores.

Concentrador de Natas y Espumas (Componente 14)

La concentración de Natas y Espumas se realizará en dos unidades. En este proceso se concentran las Natas y Espumas removidas de los sedimentadores primarios y secundarios previo a la descarga a los digestores.

Dos tanques operarán como concentradores donde las natas y Espumas flotan a la superficie, tras un tiempo de retención de aproximadamente 30 minutos.

Los tanques serán cubiertos para control de olores. El aire maloliente será recolectado para su tratamiento.

Las natas y espumas de los sedimentadores serán removidas y transportadas hacia los concentradores por medio de estaciones de bombeo ubicadas cerca de los sedimentadores.

Después de ingresar a los concentradores, las natas y espumas flotan a la superficie y se acumularán para luego ser recogidas y bombeadas a los digestores. El agua desplazada fluye a gravedad al sistema de alcantarillado sanitario de la planta que tiene su descarga al inicio de la planta.

Digestión anaerobia y almacenamiento de lodos digeridos (Componentes 16 y 15)

La digestión anaerobia servirá para digerir los lodos primarios crudos y los lodos activados de desecho, ambos, previamente espesados. La digestión es utilizada para la estabilización biológica de los lodos, reduciendo la masa de sólidos para disposición. Este proceso produce metano que será utilizado, una parte para los calderos y lo restante para la quema. En la digestión se aumenta la concentración de la torta deshidratada de lodos y disminuye el olor de esta, reduciendo de esta manera, la atracción de los vectores y los niveles de patógenos en los biosólidos.

Existen tres corrientes que alimentan a los digestores anaerobios: los lodos primarios (de los tanques espesadores a gravedad), los lodos activados de desecho (de las Bandas Espesadoras a Gravedad), ambos previamente espesados y las natas y espumas (de los Concentradores de Natas y Espumas).

El proceso de digestión anaeróbica mesofílica incluye tres digestores y un edificio de control en donde se instalarán los equipos de calefacción, bombeo y gas.

El lodo es calentado por un sistema re-circulatorio de bombeo que incluye intercambiadores de calor tubular para cada digester. Agua caliente generada por calderos provee calor mediante los intercambiadores de calor para mantener una temperatura constante en los digestores.

Los digestores tendrán una temperatura de operación de 35 °C con un tiempo de retención de sólidos de por lo menos 15 días para la producción de lodos a una tasa máxima mensual con un digester fuera de servicio para mantenimiento.

El tanque de almacenamiento de lodos digeridos recibirá los lodos provenientes de los digestores.

El tanque de almacenamiento de lodos digeridos da un espacio amplio entre los digestores y las centrifugas. Esto permite que las centrifugas sean operadas en turnos de una o dos por día.

Deshidratación de biosólidos (Componente 20)

La deshidratación de los lodos espesados se lleva a cabo con el fin de hacer posible la evacuación al relleno sanitario. La deshidratación se obtiene después de la etapa de digestión, por medios mecánicos. Para la PTAR Guangarcucho, se ha considerado el uso de tres centrifugas para la deshidratación. Las centrifugas son máquinas complejas que funcionan a altas velocidades de rotación.

Las centrifugas de deshidratación son la tecnología líder disponible para producir tortas deshidratadas de alto contenido de sólidos, alrededor de un 24%. Esto es una ventaja de costos significativa sobre las tecnologías de deshidratación de menor contenido de sólidos tales como los filtros prensa, y es la razón por la que se aplican ampliamente las centrifugas para la deshidratación de biosólidos. Las desventajas de centrifugar la deshidratación incluyen mayores requisitos de energía y mayores demandas de polímeros que otras tecnologías.

Cada centrifuga tiene una bomba centrífuga de alimentación. Estas bombas toman los lodos digeridos del tanque de almacenamiento de lodos digeridos. La configuración de las tuberías permite que cualquier centrifuga sea alimentada por cualquier bomba alimentadora.

Tres sistemas de polímeros serán instalados en el edificio en el que se localizan las Bandas Espesadoras a Gravedad y las Centrifugas utilizadas para la deshidratación de los lodos. De estos tres sistemas de polímeros, el primero servirá específicamente para las Bandas Espesadoras a Gravedad, el segundo para las Centrifugas y el tercero, de reserva para cualquiera de los dos procesos.

En cada equipo de centrifuga se tiene una cobertura para evitar que los olores se disipen en el edificio en el que están instaladas. El aire maloliente del concentrado será recolectado para su tratamiento. El conducto de descarga de lodos deshidratados estará alineado con la orientación del transportador de tornillo. El concentrado fluirá a gravedad a través de un drenaje de la planta hacia la estación de bombeo del afluente. El sistema de polímero preparará la solución de polímero a ser adicionada al lodo digerido previo a la deshidratación.

4.3.5 Instalaciones, sistemas y equipos auxiliares

Sistema de Control SCADA y Auditorio

El Centro de Control SCADA proyectado estará ubicado en la parte alta del Edificio del Auditorio de la PTAR Guangarcucho, en un local diseñado y adecuado para tal efecto. El Centro de Control incluirá:

- Espacio dedicado para la sala de control apropiadamente iluminado, con un ambiente de reducción de ruido y que pueda ser equipado con todas las ayudas requeridas por los operadores para el control eficiente y el monitoreo de la planta de tratamiento desde su fase de ingreso a la planta hasta el vertido final del efluente tratado y desinfectado.
- Ambientes separados para los Servers y el UPS.
- Espacio para Ingenieros / técnicos del sistema de Monitoreo.

En la parte baja del edificio del Auditorio, se ubicará propiamente el Auditorio con una capacidad para 84 personas.

Sistema de agua de la planta y combate de incendios de edificios

La planta contará con un sistema de agua potable y combate de incendios para las edificaciones, con los siguientes componentes principales:

- Acometida desde la red pública de ETAPA EP ubicada en la autopista Cuenca-Azogues.
- Cisternas para el abastecimiento de agua para usos del personal y para combate de incendios con sus respectivos equipos de presurización (hidroneumáticos). Se contará con dos hidroneumáticos de 5 HP para el agua de usos del personal y dos bombas para el combate de incendios (Gabinetes y rociadores del Auditorio y Laboratorio), la primera con una potencia de 25 HP y la segunda, de tipo jockey, con una potencia de 3 HP.
- Sistema de tuberías de distribución desde las respectivas cisternas y equipos de presurización, hasta el ingreso a las edificaciones.
- Redes secundarias al interior de las edificaciones, independientes para cada sistema.
- Ramales secundarios de abastecimiento a cada aparato sanitario o gabinete de incendio, según el caso. Además, para el Auditorio y el Laboratorio, una red de agua que abastecerá a los rociadores.

Red de agua de servicio

Para el agua requerida para los diferentes procesos como lavado de las diferentes unidades de los procesos de tratamiento, así como, tener disponibilidad de agua para colocación de hidrantes, se ha diseñado la red de agua de servicio que tiene su captación al final del tanque de desinfección UV. Para la presurización del agua se ha previsto la instalación de dos bombas, una en funcionamiento y una en reserva.

Sistema de alcantarillado sanitario

Todos los edificios de la Planta tienen alcantarillado sanitario. Los drenajes de fontanería y drenajes de piso están conectados al sistema de alcantarillado sanitario que tiene su descarga al inicio del tratamiento, específicamente en el Cajón de Unión.

Sistema de alcantarillado pluvial

Las aguas lluvias provenientes de los techos, drenajes de patios y de sumideros en las vías, están conectadas al sistema de alcantarillado para aguas lluvias. La descarga de este alcantarillado se lo realizará al río Cuenca.

4.3.6 Perfil hidráulico

El diseño hidráulico para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Guangarcucho fue elaborado basándose en los diseños esquemáticos de las unidades de procesos del proyecto y el plano de distribución en sitio. El modelo produce un perfil hidráulico mediante el cálculo de la pérdida de carga a través de cada uno de los elementos en el tren de procesos.

Los criterios para el diseño hidráulico de la planta se muestran en la Tabla 4-24.

Tabla 4-24: Criterios para el Diseño Hidráulico

Parámetro	Valor	Escenario
Caudal de Ingreso (Q) - Año 2050		
Caudal máximo instantáneo	2.400 L/s	1
Caudal máximo diario	1.800 L/s	2
Caudal máximo mensual	1.440 L/s	3
Caudal promedio diario	1.200 L/s	4
Caudal promedio diario con una unidad fuera de servicio	1.200 L/s	5
Caudal mínimo	600 L/s	6
Reciclaje del Licor Mezclado (0,50 del caudal máximo mensual)		
Caudal máximo de recirculación	720 L/s	1, 2 y 3
Caudal promedio diario de recirculación	600 L/s	4
Caudal promedio diario de recirculación con una unidad fuera de servicio	600 L/s	5

El modelo esquemático del diseño hidráulico fue desarrollado desde el extremo aguas abajo hacia la estación de bombeo de cabecera de la planta.

Durante la Fase I, en el Anexo 7, se describieron las Bases de Diseño requeridas para el dimensionamiento de cada una de las unidades de tratamiento de la línea de agua y de la línea de lodos para la alternativa seleccionada de Lodos Activados, incluyendo los criterios de diseño, los parámetros de operación y el dimensionamiento de las unidades de procesos. Como parte del Informe Final, también como Anexo 7 se incorpora nuevamente este anexo, con los ajustes que han surgido durante el período de Diseño Definitivo.

Sección 5 DESARROLLO DEL DISEÑO DETALLADO

5.1 Diseños hidráulico-sanitarios

5.1.1 Criterios de diseño

Una vez que en la Fase I se definió a los Lodos Activados como la mejor alternativa de tratamiento para Guangarcucho y que además se establecieron los componentes que lo conformarían tanto para el tratamiento del agua como de los lodos que se generan, la primera actividad realizada dentro de los diseños hidráulico-sanitarios detallados fue elaborar un documento con los criterios que se servirán como guía para el diseño de la PTAR, este documento llega a ser un alcance o complemento de las Bases de Diseño que fueron presentadas en el Informe de Fase I como Anexo 7.

En el documento de criterios, se tratan temas como las velocidades mínimas y máximas para el diseño del Tren de Tratamiento Líquido, y del Tren de Tratamiento de Sólidos; los materiales de las tuberías con sus factores de fricción; las pérdidas de carga por accesorios y en canales abiertos; criterios de velocidad para el diseño de las cribas; criterios para el diseño hidráulico del sistema de aireación y los criterios para la elaboración del perfil hidráulico. El documento contiene además otra sección con los criterios hidráulicos para el diseño de los sistemas hidrosanitarios internos destinados al abastecimiento de agua potable, alimentación a los gabinetes de combate de incendios, evacuación de aguas residuales y drenaje de la escorrentía pluvial.

El documento borrador de criterios de diseño hidráulico fue puesto a consideración de la Fiscalización, habiendo recibido algunas observaciones que han sido acogidas en la elaboración del documento definitivo que forma parte del Anexo 9 del presente informe.

5.1.2 Diseños hidráulicos realizados

Con respecto a la Línea de Agua, se ha realizado el diseño hidráulico de cada uno de los componentes, así como los canales y tuberías de interconexión entre estos componentes. De esta manera se tiene el diseño de: Tratamiento preliminar con: La cámara de ingreso a la planta; El Pozode Gruesos; Las rejas gruesas; Las rejas finas; La estación de bombeo inicial y los Desarenadores Tipo Vórtice. El Tratamiento primario con los desarenadores primarios. El tratamiento secundario con los biorreactores seguidos de los sedimentadores secundarios con recirculación de los lodos biológicos (RAS) hacia los biorreactores. Finalmente la desinfección por medio del sistema ultravioleta.

El diseño de la línea de lodos está compuesta por los espesadores de lodos primarios; los espesadores de banda por gravedad; los concentradores de natas y espumas, los digestores anaerobios, el almacenamiento de lodos de desecho, la deshidratación y el almacenamiento de lodos deshidratados.

Desde los sedimentadores primarios se transportan los lodos, mediante bombeo, hacia los espesadores, en tanto que las natas de los sedimentadores primarios se conducen, también por bombeo hacia los concentradores de natas y espumas. Desde los sedimentadores secundarios, los lodos de desecho (WAS) son llevados hasta los espesadores de banda por gravedad y las natas hasta los concentradores de natas y espumas. Los lodos y natas de los espesadores, filtros bandas y concentrador de natas y espumas se transportarán, mediante bombeo hasta los digestores. Desde los digestores se pasará al tanque de almacenamiento de lodos de desecho y desde allí a la deshidratación

por medio de centrifugadoras, para finalmente almacenarlos en el edificio denominado Plataforma de Depósito de Biosólidos y luego llevarlos al relleno sanitario.

Otros diseños hidráulicos-sanitarios realizados son los sistemas hidrosanitarios internos relacionados con el abastecimiento de agua potable con alimentación a los gabinetes de combate de incendios, evacuación de aguas residuales, drenaje de la escorrentía pluvial y el agua de servicio requeridos para el funcionamiento de algunos de los componentes de la planta.

También se han considerado los componentes requeridos para el aprovechamiento del biogás, tanto como combustible para los calderos como, lo restante, para la cogeneración de energía eléctrica. Con relación a la cogeneración, en el proyecto se ha llegado hasta la definición de los equipos necesarios y su ubicación en el sitio de la PTAR.

De acuerdo al modelo GPS-X, para el caudal promedio de 1.200 L /s, se espera que, el total de gas producido sea igual a 552 m³/h, de los cuales, 200,7 m³/h se utilizarían como combustible para los calderos, en tanto que, lo restante, 351,3 m³/h, se empleará para generación eléctrica o deberá ser incinerado. De ser aprovechado, se ha estimado que la capacidad teórica de generación de energía sería igual a 744 kW/h.

En el Anexo 9 se ha dispuesto a las Memorias de Cálculo de los Diseños Hidráulicos-Sanitarios.

5.2 Diseños arquitectónicos

Con respecto a los diseños arquitectónicos, se ha realizado el diseño de los siguientes componentes:

- Cerramiento perimetral que contempla a dos tipos de diseño, el primero para la parte alta ubicada junto a la autopista Cuenca-Azogues y el segundo, para el resto del perímetro.
- Paisajismo.
- Estación de bombeo inicial.
- Edificio de bombeo de decantación secundaria (RAS-WAS).
- Las dos puertas de ingreso a la PTAR.
- Las dos casas de guardianía, una para cada acceso.
- Edificio de sopladores.
- Concentrador de natas y espumas.
- Edificio para control de digestores.
- Edificio: Espesador de Banda por Gravedad (GBT's) - Deshidratación.
- Plataforma de descarga de biosólidos.
- Edificio de Calderos.
- Edificio de Bodega-Almacén.
- Edificio de Cuarto Eléctrico.
- Edificio de Auditorio con capacidad para 84 personas.
- El Laboratorio pequeño que funcionará en Guangarcucho como complemento al existente en Ucubamba.

- Edificio de lodos primarios.
- Participación con el componente arquitectónico de las partes requeridas en el diseño de varias de las estructuras de tratamiento de agua y de tratamiento de lodos.

Como procedimiento para el diseño arquitectónico, el Consorcio preparó los diseños de cada componente, los presentó para su revisión a la Administración y Fiscalización del proyecto, se mantuvieron reuniones con estas instancias para recibir las observaciones y finalmente se elaboraron los diseños arquitectónicos definitivos, acogiendo las sugerencias de la Administración y Fiscalización.

Como parte de los productos del proyecto se presentan los planos arquitectónicos con las plantas, fachadas, cortes y detalles requeridos en cada edificación.

Es necesario mencionar que el Edificio de Administración existente formará parte de las obras de la PTAR, manteniendo su uso como Administración.

Además de lo señalado, forman parte del diseño arquitectónico realizado, las obras complementarias como: las vías internas, las camineras, las áreas verdes y los estacionamientos.

5.3 Diseños estructurales

De manera similar a las otras ingenierías, la primera actividad dentro de los diseños definitivos estructurales fue la preparación de parte del Consorcio del documento con los criterios de diseño estructural, el mismo que fuera puesto a consideración de la Fiscalización y en conjunto acordar los temas que enseguida se mencionan.

5.3.1 Criterios de diseño

Análisis Estructural

El Análisis Estructural se lo realizará desarrollando modelos basados en el método de los elementos finitos, tomando los parámetros mecánicos dados en las normas ACI-350-10, la cimentación se modelará en base a las recomendaciones dadas por el estudio geotécnico, el suelo se deberá considerar como un medio continuo, el estudio geotécnico deberá proporcionar los parámetros mecánicos del suelo y su clasificación de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

Dentro de las cargas de diseño, se tendrá especial cuidado en la determinación de la carga sísmica, esto se debe a que la NEC se aplica únicamente para estructuras de edificios (vida útil 50 años y 10% de probabilidad de excedencia para el sismo de diseño), obras distintas como son tanques, reservorios y estructuras hidráulicas cuyo comportamiento dinámico es distinto al de los edificios, se deben aplicar consideraciones especiales (vida útil 75 años y 10% de probabilidad de excedencia). La NEC en su capítulo NEC-SE-DS que corresponde a Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente, contempla para estructuras diferentes a edificios, únicamente el factor de reducción de respuesta por comportamiento inelástico R.

La determinación de la carga sísmica se lo realizará aplicando la norma de Diseño Sísmico de Estructuras de Concreto que Contienen Líquidos, ACI 350.3-10.

La amenaza sísmica proporcionada por la NEC-SE-DS, es aplicable únicamente para edificaciones, por lo que, aunque esta actividad no estuvo prevista, para el proyecto de la planta de tratamiento de

aguas residuales Guangarcucho, se ha procedido a realizar el estudio de peligro sísmico específico para esta obra.

Diseño Estructural

Debido a que la NEC no contempla una norma específica para este tipo de estructuras, se utilizará el Código para Estructuras de Hormigón de uso Sanitario, ACI 350-10, esta norma tiene una serie de consideraciones especiales para el diseño de estructuras que contienen líquidos y busca principalmente controlar el fisuramiento y proteger la armadura de refuerzo.

5.3.2 Diseños estructurales realizados

Estudio de Peligro Sísmico

El objetivo de estudiar los efectos de la sismicidad de la región, es evaluar el peligro sísmico para las obras civiles necesarias para construir la nueva planta de tratamiento de aguas servidas ubicada en el sector de Guangarcucho, este estudio ha permitido determinar los niveles de aceleración que deberán soportar las estructuras para que su desempeño durante un sismo cumpla con la filosofía de diseño sismorresistente vigente en todos los códigos de construcción.

Objetivos específicos:

- Evaluar las fuentes sismogénicas regionales dentro del área de influencia.
- Evaluar la recurrencia de las magnitudes de cada una de las fuentes sismogénicas.
- Evaluar las magnitudes máximas y ecuaciones de atenuación de cada una de las fuentes
- Determinación de la función de probabilidad condicional acumulada del parámetro de amenaza, que en nuestro caso corresponde a la aceleración en terreno firme.

Resultados:

En el estudio se realiza el análisis de la Sismotectónica Regional, la Distribución Geográfica de los Epicentros, los Principales Fallamientos de la Zona, las Fuentes Sismotectónicas y la Modelación del Peligro Sísmico.

Luego de los análisis señalados, se tiene como resultado principal del Estudio de Peligro Sísmico que:

La amenaza sísmica para una probabilidad de excedencia de 10% y una vida útil de diseño de 75 años obtenida para el sitio de Guangarcucho en el que se emplazará la planta de tratamiento de aguas residuales tiene un valor de 0,305g para el valor promedio de la aceleración más una desviación estándar.

Diseños estructurales

Se ha realizado el diseño estructural de cada uno de los componentes que requieren de estos diseños, habiéndose preparado para cada caso, la memoria técnica y los planos estructurales correspondientes.

De manera general, la memoria técnica de cada estructura tiene el siguiente contenido:

- Antecedentes con: la Definición Geométrica del Proyecto y las Características Geométricas y Condiciones Estructurales.
- Cargas de Diseño: Carga Muerta o Peso Propio, Cargas Vivas, Carga Sísmica y las Hipótesis de Carga.
- Materiales: Resistencia del Hormigón Armado, Características de la Armadura, Perfilera de Hierro.
- Análisis Estructural: Método de Análisis, Programa de Cálculo Electrónico, Preparación de la Información para el Uso del Programa, Resultados de la Computadora y Resultados del Análisis.
- Diseño Estructural de los diferentes elementos como: Losas, Vigas y Columnas.

Con respecto a los planos de cada estructura, por lo general, se tiene:

- La planta de cimentación.
- Detalles de las columnas y vigas.
- Detalles de las losas.
- Secciones y detalles.
- Planilla de hierros y volumen de materiales de la estructura.
- Especificaciones generales y parámetros asumidos para el suelo.

En el Anexo 10 se han ubicado a las Memorias de cálculo de los diseños estructurales.

5.4 Diseños eléctricos y electrónicos

Siguiendo igual procedimiento al de los otros diseños, la primera actividad dentro de los estudios definitivos eléctricos y electrónicos fue la preparación de parte del Consorcio del documento con los criterios de diseño de cada uno de estos estudios. El documento borrador de criterios para los diseños eléctrico y electrónico fue puesto a consideración de la Fiscalización habiendo recibido algunas observaciones que han sido acogidas en la elaboración del documento definitivo que enseguida se detalla.

5.4.1 Criterios de diseño eléctrico

Para proceder con el diseño eléctrico de los diferentes componentes que forman parte de la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector de Guangarcucho, en conjunto con la Fiscalización, se acordaron los siguientes temas.

Iluminación Interior

Se empleará como fuente luminosa lámparas con tecnología LED (focos, tubos o proyectores temperatura de color 3000K) en luminarias abiertas para iluminación de áreas de procesos y cerradas con difusor para áreas de oficinas. Los niveles lumínicos se establecerán según la normativa ISO 8995:2002 – CIE S 008/E-2001 Lighting of Indoor Work Places. Para el cálculo se empleará software LUMENLUX de la compañía LUMENAC.

La iluminación de emergencia se diseñará empleando Lámparas LED temperatura de color 6000K con BPS para respaldo de 1,50 horas de iluminación continua.

Iluminación Exterior Vial y de Áreas Abiertas

Se empleará como fuente luminosa lámparas con tecnología LED temperatura de color 3100K en luminarias abiertas soportadas en brazo de 1.5 m. de longitud y montadas en postería metálica de 10 m de longitud. Los niveles lumínicos se establecerán según la normativa RTE INEN 069 "ALUMBRADO PÚBLICO" y CIE 140-2000 Road Lighting Calculations. Para el cálculo se empleará software ULYSSE de la compañía SCHREDER.

Niveles de Voltaje y Configuración de Cargas Eléctricas

- Monofásicas: a una tensión de 127 Vac para instalaciones interiores de iluminación y utilizadores tales como tomas de corriente de un polo y elementos de acondicionamiento de humedad y temperatura al interior de los gabinetes de distribución, control y conmutación de estado.
- Bifásicas: a una tensión de 220 Vac para iluminación exterior mediante lámparas de iluminación exterior tipo LED ultra brillante, para tomas de corriente de dos polos más polo de tierra accesible para uso de máquinas herramientas, para equipos analíticos de laboratorio, para cocinas de inducción y para equipos de aire acondicionado.
- Trifásicas: a una tensión de 220 Vac para alimentadores principales de servicios auxiliares y para tomas de corriente de tres polos más polo de tierra accesible para uso de máquinas herramientas livianas.
- Trifásicas: a una tensión de 460 Vac para CCM's con equipos hasta 600 HP de potencia.

Correcciones del Factor de Potencia

Se establecerá como factor de potencia CONSIGNA 0.97 inductivo, en consideración a que la normativa nacional establece un valor mínimo de 0,95.

Cálculo de Corto Circuito en Baja Tensión

Se empleará la metodología de cálculo recomendada por el estándar IEC 60909-0:2016 - VDE 0102 - NF C 15-100 guide C 15-105 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents.

Unidades de Respaldo de Energía para Sistemas de Control, Telemetría, Vigilancia y Telecomunicaciones

Se empleará UPS's on line con puerto de comunicación para tele servicio y si es del caso configuraciones de distribución SAI y, para alimentación de equipos electrónicos de control, instrumentación y telecomunicaciones fuentes de corriente continua conmutadas del tipo industrial.

El dimensionamiento de disyuntores magneto térmicos de control, fuentes de corriente continua y capacidad de UPS se realizarán sumando algebraicamente las corrientes consumidas por los equipos

de control tales como: bobinas de contactores, bobinas de relés, electroválvulas, electrónica de control e instrumentación, electrónica de protección (IED's), electrónica de telecomunicaciones (Switches, Routers, etc.), electrónica para monitoreo y visualización SCADA (Servidores, Monitores, etc.), lámparas de señalización, balizas de alarma, etc., y aplicando un factor de simultaneidad que estará definido por el proceso particular.

Grupos Electrógenos

Debido a la elevada demanda eléctrica de la PTAR Guangarcucho para los procesos de tratamiento de aguas residuales no se empleará Grupos electrógenos a diesel o biogás que permitan satisfacer la misma en su totalidad, empleando para eventos de falla en la alimentación de energía un sistema de doble alimentador primario en Media Tensión en configuración REDUNDANTE a partir de la Subestación N° 12 (EL DESCANSO) de propiedad de la EERCS CA, proyecto aprobado y en fase de construcción por parte de ETAPA EP.

Para el aprovechamiento de la potencialidad energética de la PTAR Guangarcucho, en fase de estudio, se ha dotado de sistemas de transferencia automática a nivel de voltaje de 220 Vac en todos los tableros de distribución general a fin de incluir a futuro la energía proveniente de la generación eléctrica mediante biogás, misma que no se sincronizará con el suministro de la EERCS CA.

Configuración de CCM's

- Para Control de Motores HASTA los 5.0 HP de potencia, operación ON/OFF, se empleará Contactores.
- Para Control de Motores HASTA los 5.0 HP de potencia, operación MODULANTE en Lazo de Control, se empleará VSD's
- Para Control de Motores SOBRE los 5.0 HP HASTA los 300.0 HP de potencia, operación ON/OFF, se empleará Soft Starters.
- Para Control de Motores SOBRE 5.0 HP HASTA los 300.0 HP de potencia, operación MODULANTE en Lazo de Control, se empleará VSD's.
- Para Control de Motores SOBRE los 300.0 HP de potencia, operación MODULANTE individual de cada unidad, se empleará VSD's en baja tensión.
- Para Control de Motores SOBRE los 300.0 HP de potencia, operación ON/OFF, se empleará VSD de media tensión conjuntamente con Switchgear provisto de sincronismo para conmutación de Unidades.

Transformadores de Distribución MT/BT (Relaciones 22.0/4.16 kV, 22.0/0,46 kV y 22.0/0.220-0127 kV)

Se empleará Transformadores Pad-Mounted Monofásicos y Trifásicos que cumplan con los estándar industriales IEEE® C57.12.00, IEEE C57.12.34, IEEE C57.12.28, IEEE C57.12.29, IEEE C57.12.70, IEEE C57.12.80, IEEE C57.12.90, IEEE C57.91 y NEMA®

Transformadores de Distribución BT/BT (Relaciones 0.460/0.220-0.127kV)

Se emplearán Transformadores Secos tipo AA Monofásicos y Trifásicos que cumplan con los estándares industriales INEN 2120, IEEE C57.12.25 y NEMA® TP1

Conductores Eléctricos

- PARA BAJA TENSIÓN (Incluidas las instalaciones interiores generales en oficinas y laboratorios): Conductores de Cobre Superflexible provistos de aislamiento XLPE (Polietileno Reticulado) hasta 1.000 V@ 90° C.
- PARA MEDIA TENSIÓN: Conductores de Cobre Trefilado temple suave provistos de aislamiento seco tipos XLPE (Polietileno Reticulado) o EPR (Etileno Propileno) hasta 5.000 V@90° C y 25.000 V@90° C, según el nivel de voltaje de aplicación.
- PARA MALLAS DE PUESTA A TIERRA: Conductores de Cobre desnudo Trefilado temple duro.

Swichgear de Media Tensión

Se empleará Swichgear de distribución y protección con celdas aisladas en gas SF6 que será elaborado en configuración de barra simple y contará con equipos Seccionadores tripolares dos posiciones (ON-OFF) corte en SF6, Seccionadores tripolares tres posiciones (ON-OFF-GND) corte en SF6, Seccionadores-fusible tripolares, Interruptores de potencia tripolares corte en vacío provistos de sistema de operación manual, accionamiento de muelle con motor para acumulador, unidad de disparo automática, mecanismo anti bombeo y equipamiento de control básico comandados por relevadores numéricos programables para protección contra sobre corriente instantánea y temporizada ANSI 50, 50N, 51, 51N, 69 y 74 con características de disparo de tiempo definido y tiempo inverso conforme curvas de disparo estándar IEC y ANSI alojados en envoltorio metálica del tipo METAL-CLAD SWITCHGEAR que sortee satisfactoriamente las pruebas ARC FLASH (IEEE Std 1584-2002 & NFPA 70E) conforme la normativa IEEE C37.20.2-1999 – IEEE *Standard for Metal-Clad Switchgear* rango 4.76 kV a 38 kV e IEC 62271:2015 *SERIES High-voltage switchgear and controlgear*.

Coordinación del Aislamiento en Media Tensión

Para la coordinación aislamiento de los equipos de la media tensión y diseño de pararrayos clase distribución y clase estación se seguirá un método determinístico para seleccionar los aislamientos internos (no – auto restaurables) y un método probabilístico simplificado del estándar IEC 60071-2 Insulation co-ordination - Part 2: Application guide, para establecer los aislamientos externos (auto restaurables).

Mallas de Puesta a Tierra

Los tres sistemas de puesta a tierra para las instalaciones previstas, se construirán empleando varillas copperweld instaladas en lecho de tierra vegetal con aditivo de gel mejorador del terreno y, cable de cobre desnudo directamente enterrado a tierra a una profundidad de 50 cm de las plataformas viales (medido a partir del inicio del nivel de tierra).

La determinación de la resistividad del terreno se efectuará mediante instrumentos y metodología estandarizada, siguiendo los lineamientos planteados en la norma IEEE Std.81-1983 *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potential of Ground System*.

Para el cálculo del calibre de los conductores y varillas de las mallas de puesta a tierra consideraremos la corriente de falla 1Ø-T más desfavorable y el tiempo de duración de la misma de acuerdo al estándar IEEE Std 80-2013 *Guide for Safety in AC Substation Grounding - Derivation by SVERAK*.

Para el cálculo de la resistencia de puesta a tierra emplearemos el estándar IEEE Std 80-2013 *Guide for Safety in AC Substation Grounding - SVERAK* y el estándar IEEE Std 142-2007 – H.B. Dwight – AIEE 1936 que se describe en el *Green Book*.

Sistemas de Protección Atmosférica Zonal

Se empleará pararrayos de protección zonal tipo PDC-ESE de última generación con cebado electrónico autónomo ante el incremento del campo eléctrico debido a la aproximación de unadescarga descendente procedente de una nube de tormenta que anticipen la captación y eviten el ingreso de estos picos transitorios de voltaje a los sistemas y sean dispersados adecuadamente a través de una ruta previamente asignada como el sistema de puesta a tierra para PROTECCIÓN. Para la determinación del radio de cobertura del pararrayos propuesto se seguirá lo que establece la normalización NFC 17.102, UNE 21.186 e IEC 62.305.

Pozos y Ductos

Para Media y Baja tensión, antes de la llegada al Switchgear general de la PTARG se aplicará lo estipulado en la normativa MEER-SIGDE en lo relacionado con instalaciones subterráneas por disposición de la EERCS CA.

Para Media y Baja Tensión, posterior al Switchgear general de la PTARG se empleará pozos y ductos de diseño particular en virtud a que la normativa MEER-SIGDE contempla un campo de aplicación dirigido exclusivamente a redes de distribución eléctricas y telefónicas.

Tuberías y Electrobandejas

Para tendidos subterráneos eléctricos, telefónicos, de datos y de señales, se empleará tuberías PVC Conduit Tipo pesado cédula 80, conforme NTE INEN 2497:2009

Para tendidos interiores eléctricos, telefónicos, de datos y de señales, en edificios, cuartos y casetas cubiertas, se empleará

- Tuberías metálicas rígidas intermedia EIMC-S conforme. NTE INEN 2 472:2008.
- Tuberías metálicas flexibles anilladas tipo BX Liquid Tight Conduit conforme ANSI/ UL- 360, el artículo 350 del NEC (Código eléctrico nacional, ANSI/NFPA-70) y la sección 14.5.4 de la norma ANSI / NFPA-79 para maquinaria industrial.
- Electrobandeja en aleación de aluminio AA-6063-T6, tipo escalera para servicio pesado 2.1 mm de espesor conforme NTE INEN 2486; NEMA VE1; ASTM B209.

5.4.2 Criterios de diseño electrónico de control, automatización, telecomunicaciones y monitoreo SCADA

Para proceder con el diseño electrónico de los diferentes componentes que forman parte de la planta de tratamiento de aguas residuales en el sector de Guangarcucho, en conjunto con la Fiscalización, se acordaron los siguientes temas.

Configuración Hardware Control

La configuración propuesta incluye autómatas programables PLC de gama media y baja para cada uno de los procesos a desarrollarse en la PTAR-G, mismos que contarán con módulos de CPU, DI's, DO's, AI's, AO's, CP's e Interfaces de comunicación Serial R485 IEC61158, Industrial Ethernet RJ45 IEEE 802.3 y RJ45 DNP3.0 sin redundancia en hardware.

Señales y Voltajes

El sistema de control empleará para las señales discretas de salida (DO's) una tensión monofásica de 115 Vac y para las señales analógicas de entrada (AI's) se utilizará lazo de corriente de 4 a 20 mA y voltaje 0 a 10 V proporcional a la magnitud física mensurada mediante los transductores. La tensión de alimentación interna de los autómatas programables PLC, de las RTU's de ser el caso, de los paneles de diálogo hombre máquina HMI, así como de las señales discretas de entrada (DI's) y, de los transductores de nivel y presión será de 24 Vdc.

Automatización

Se ha desarrollado la "Filosofía" de Control para cada uno de los procesos particulares que permitan efectuar el proceso general de depuración de Aguas Residuales empleando P&ID's y premisas de desarrollo de la aplicación de software para cada uno de los autómatas PLC que también, en algunos casos a definir, deberán emplear data de otros procesos en modalidad de dependencia o set points en lazo de control. En los casos que sean procedentes se definirá de manera básica el control PI, PD ó PID.

Redes de Telecomunicaciones LAN

Se proyectará al interior de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR-G tres redes de área local conforme la descripción siguiente:

- Red de comunicación de datos SERIAL IEC 61158 Digital Data Communications for Measurement and Control – Fieldbus for Use in Industrial Control Systems, para uso exclusivo de la instrumentación de procesos (Enlaces PLC con Convertidores – Visualizadores de Instrumentos) y Actuadores de Válvula o Compuerta motorizados con una característica de velocidad entre 8 y 12 Mbps, del tipo serial RS485 con autonomía física \leq a 500 metros sobre medio físico Cobre apantallado, para tal efecto se trabajará con arquitecturas radiales o en anillo y protocolos seriales tales como: PROFIBUS, MODBUS SERIAL, DEVICENET, etc.
- Red PRINCIPAL de comunicación de datos IP jerárquica Industrial Ethernet, estandarizada IEEE 802.3 por medio guiado como backbone o Core de la red de comunicación de datos IEC 61158, Enlaces Switch Core desde Servidor SCADA con Autómatas PLC's de la PTAR-G y enlaces Autómata PLC con VSD's, Sotstarters, HMI panels, UPS's con una característica de

velocidad de 10/100/1000 Mbps con una autonomía física de hasta 10.0 km @ 100BaseFX sobre medio físico Fibra Óptica monomodo 9/125 μm y una autonomía física de hasta 100 m sobre medio físico Cobre SFTP Categoría 6, para tal efecto se trabajará con arquitecturas radiales y protocolos estándar tales como: IP, TCP/IP, DNP3.0, PROFINET, MODBUS TCP, SNMP v1, v2, v3, IEC 60870-5-104, IEC 61850, etc.

- Red REDUNDANTE de comunicación de datos IP jerárquica industrial Ethernet inalámbrica, estandarizada IEEE 802.11n (iWLAN MIMO) como backbone o Core de la red de comunicación de datos IEC 61158, Enlace Switch Core desde Servidor SCADA con Autómatas PLC's de la PTAR-G con una característica de velocidad de hasta 350 Mbps con una autonomía física determinada por las pérdidas FSL, la sensibilidad de los receptores Rx y la ganancia de las antenas proyectadas Tx, para tal efecto se trabajará con arquitecturas radiales y protocolos estándar tales como: IP, TCP/IP, DNP3.0, PROFINET, MODBUS TCP, SNMP v1, v2, v3, IEC 60870-5-104, IEC 61850, etc.

Centro de Control SCADA

El Centro de Control proyectado estará ubicado en los predios de la PTAR-G, en un nuevo edificio diseñado y construido para tal efecto. El mismo incluirá:

- Espacio dedicado para la sala de control apropiadamente iluminado y con un ambiente de reducción de ruido, aire acondicionado y que pueda ser equipado con todas las ayudas requeridas por los operadores para el control eficiente y el monitoreo de la planta de tratamiento de aguas residuales desde su fase de captación.
- Ambientes separados para los Servers y el UPS True On Line.
- Sala para Ingenieros/técnicos.
- Sala para personal de mantenimiento.

Estos ambientes constituirán un área de alta seguridad con ingreso restringido por código electrónico y biómetros en las puertas.

El equipamiento de hardware del Centro de Control incluirá:

- Red de Área Local (LAN).
- Servidores para la aplicación real time (Principal y Redundante en modo Hot Standby).
- Servidor data base histórico y la aplicación web.
- Sistema de respaldo de data storage.
- Firewall.
- 2 Estaciones de operación (Workstations).
- Impresora a chorro de tinta formato A3 para reportes.
- Acceso a telefonía IP (2 terminales de videotelefonía).
- Sistema ininterrumpido de energía (UPS).
- Red de alimentación de energía a los equipos.
- Sistema de puesta a tierra con $RPT \leq 2 \Omega$.
- Sistema de protección atmosférica.
- Acondicionamiento y ambientación del área necesaria donde se instalará todo el equipamiento (HVAC, sistema contra incendios, falso piso, etc.).

Se prevé implementar un interfaz gráfico VIDEOWALL en el cual podrá proyectarse la representación gráfica de la situación global de los procesos a desarrollarse en la PTAR-G (GUI – *Graphic User Interface*) enlazado mediante tecnología DVI con servidor de Video y Pantallas IPS con retroiluminación LED especificación operativa 24/7 controladas por el servidor de video.

Los servidores previstos serán de alta performance operando en configuración tolerante a fallas con elevado MTBF, asegurando que la operación se efectúe de forma ininterrumpida y con alta confiabilidad. Se implementará un servidor adicional de Real Time con la finalidad de brindar redundancia en modo Hot Standby.

La configuración de los servidores de Almacenamiento e Históricos se efectuará mediante la alternativa RAID más conveniente.

Se preverá que la operación de los servidores de las estaciones de operador y del sistema contra incendio será respaldada por un UPS de apropiada potencia por un período mínimo de 25 minutos, lapso suficiente para permitir las eventuales operaciones de cierre del sistema.

Los equipos previstos, conformantes del Centro de Control incluidos los servidores y el UPS se ubicarán en una sala general separada por completo de las Workstations y el Video Wall.

Se prevé que las estaciones de trabajo de los operadores del SCADA (Workstations Certificadas) permitirán a los operadores, previo registro, acceso ilimitado a todas las áreas de la red de control para propósitos de monitoreo. Sin embargo, se requerirá un código de seguridad (contraseña) para establecer cambios en los parámetros y otros comandos de operación que tengan un efecto considerable en la operación del sistema mediante configuración de acceso jerárquico.

Las estaciones de trabajo tendrán acceso al Video Wall (streamings) para presentar imágenes de sinópticos y de video a gran escala.

Además del equipamiento hardware previsto, el centro de control se dotará de software SCADA especializado para la gestión en tiempo real de los procesos de la PTAR-G con capacidad de enlace DDE para gestión ERP y capacidad de Web Server para visualización vía Internet con Hosting que podrá ser contratado o suministrado por ETAPA EP.

En síntesis, los objetivos que el software y el hardware deberán cumplir:

- Permitir la operación ininterrumpida de las estaciones: local y remotas bajo control.
- Recibir la información de las estaciones local y remotas soportando los sistemas de comunicaciones previstos (principal y redundante inalámbrico).
- Procesar la información recibida y permitir su representación en forma gráfica.
- Almacenar la información en un archivo histórico (base de datos) y consentir estadísticas.
- Enviar los set-points de operaciones a las estaciones remotas.
- Manejar las alarmas recibidas.
- Operar válvulas, procesos, bombeos, etc. en caso de emergencias.

Red Administrativa, Telefónica y de Intercomunicación

Se prevé implementar una sola red convergente IP de telecomunicaciones (Separada de la red de telecomunicaciones de procesos) para brindar los servicios de data, video vigilancia, telefonía e intercomunicación a los usuarios de la PTAR-G que partirá desde un switch capa 3 ISO (Switch Core Administrativo) que permita crear VLAN's, mismas que a su vez serán direccionables, configurables y accesibles desde la red empresarial de ETAPA EP.

El backbone a partir del Switch Core antes mencionado empleará fibra óptica monomodo hasta los switch's de última milla para usuarios. Conforme la capacidad de tráfico de la configuración propuesta será posible implementar a futuro el equipamiento de video para seguridad y vigilancia.

5.4.3 Diseños eléctricos y electrónicos realizados

Se ha procedido a realizar los diseños eléctricos y electrónicos para todas las unidades de tratamiento que lo requieren así como de los edificios que forman parte de la PTAR, habiéndose preparado las memorias de cálculo siguientes:

Del sistema eléctrico:

- Determinación de la Demanda, elección de la potencia de los transformadores.
- Sistemas de alimentación en media tensión.
- Sistemas de alimentación en media tensión.
- Tableros de baja tensión.
- Mallas de puesta a tierra.
- Sistema de protección atmosférica zonal.
- Unidades de respaldo de energía para sistemas de control, telemetría, vigilancia y telecomunicaciones.

De Telecomunicaciones:

Para el interior de la PTAR Guangarcucho se han proyectado las siguientes tres redes de área local:

1. Red de comunicación de datos SERIAL IEC 61158 Digital Data Communications for Measurement and Control – Fieldbus for Use in Industrial Control Systems, para uso exclusivo de la instrumentación de procesos (Enlaces PLC con Convertidores – Visualizadores de Instrumentos) y Actuadores de Válvula o Compuerta motorizados (ON- OFF o Proporcionales) con una característica de velocidad entre 8 y 12 Mbps, del tipo serial RS485 con autonomía física \leq a 500 metros sobre medio físico Cobre apantallado.
2. Red PRINCIPAL de comunicación de datos IP jerárquica Industrial Ethernet, estandarizada IEEE 802.3 por medio guiado como backbone o Core de la red de comunicación de datos IEC 61158, Enlaces Switch Core desde Servidor SCADA en configuración anillada con Autómatas PLC's de la PTAR-G y enlaces Autómata PLC con VSD's, HMI panels, UPS's con una característica de velocidad de 10/100/1000 Mbps con una autonomía física de hasta 10.0 km @ 100BaseFX sobre medio físico Fibra Óptica monomodo 9/125 μ m y una autonomía física de hasta 100 m sobre medio físico Cobre SFTP Categoría 6.
3. Red REDUNDANTE de comunicación de datos IP jerárquica industrial Ethernet inalámbrica, estandarizada IEEE 802.11n (iWLAN MIMO) como backbone o Core de la red de comunicación de datos IEC 61158, Enlace Switch Core desde Servidor SCADA con Autómatas PLC's de la PTAR-G con una característica de velocidad de hasta 350 Mbps con una autonomía física determinada por las pérdidas FSL, la sensibilidad de los receptores Rx y la ganancia de las antenas proyectadas Tx.

En el Anexo 9 del presente informe se encuentra la memoria de los diseños eléctricos y electrónicos con sus respectivos adjuntos. Además de la memoria, se han preparado los planos eléctricos y electrónicos requeridos para la construcción de estos componentes del proyecto.

Sección 6 DOCUMENTOS DEL PROYECTO

6.1 Tecnología de la construcción y equipo mínimo

En el Anexo 12 se ha dispuesto, en detalle, lo relacionado con la Tecnología y la Metodología recomendada para la construcción de las obras previstas en los estudios de los diseños definitivos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Guangarcucho, considerando las factibilidades y facilidades disponibles localmente. En el documento se define además al equipo mínimo que se necesitará para la ejecución de las obras, así como, los equipos y acciones de seguridad que debe tomar el personal para evitar accidentes durante la fase constructiva.

6.2 Cronograma de construcción

Como parte del Anexo 12 se han preparado los siguientes cronogramas:

La planta de tratamiento Guangarcucho, será construida en una sola etapa, en consideración del interés de ETAPA EP, de que, al inicio de su operación, pueda recibir parte de las aguas servidas que este momento son tratadas en la PTAR Ucubamba, mientras ésta entra en una fase de mantenimiento.

Con este antecedente, se han preparado los siguientes cronogramas:

- Cronograma general de construcción en el que se incluye a las obras civiles, el suministro e instalación de equipos, construcción de edificios, instalaciones eléctricas, medidas ambientales, así como las pruebas y puesta en marcha de la planta.
- Cronograma de avance físico desarrollado en MS Project, en formato de barras GANTT, destacando la ruta crítica.
- Cronograma valorado de las obras por meses en formato de hoja de cálculo Excel.
- Curva de la inversión mensual acumulada.

Se ha considerado que el tiempo requerido para la ejecución y funcionamiento inicial de las obras será de 18 meses y, que luego se tendrán 6 meses adicionales para la puesta en marcha y para la elaboración del Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR, considerando el documento que inicialmente se está entregando como parte de los diseños, sumado al tipo las características de los equipos que se instalen y los resultados que se vayan obteniendo durante la etapa de puesta en marcha.

6.3 Operación y mantenimiento de la PTAR

En el Anexo 13, se presenta el documento “Manual de Operación y Mantenimiento de la PTAR” que contiene los criterios técnicos iniciales para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho, cuyo propósito es proporcionar los criterios técnicos preliminares que orienten la puesta en marcha de la PTAR y optimización de su explotación.

Estos criterios deberán complementarse, luego de las experiencias adquiridas durante un período de puesta en marcha de seis meses, con los correspondientes al mantenimiento de los equipos empleados durante la implementación del proyecto; actividades que deberán ser cumplidas por la empresa

contratista de la obra y de esta manera elaborar el Manual de Operación y Mantenimiento definitivo de la PTAR para la Contratante.

6.4 Elaboración de los planos de construcción

Los planos que se han generado en el proyecto serán la principal fuente de consulta para la ejecución de las obras proyectadas. Estos planos, que contienen la información de los estudios, han sido organizados de la siguiente manera:

- Planos Generales.
- Planos Paisajísticos y Arquitectónicos.
- Planos hidráulicos de los procesos de la PTAR.
- Planos Hidrosanitarios Internos de los Edificios (red de agua potable, red de incendios hacia gabinetes, alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial).
- Planos Hidrosanitarios Internos de la PTAR Guangarcucho: sistema de agua de servicios e incendios, sistema de agua potable, sistema de alcantarillado sanitario, sistema de alcantarillado pluvial
- Planos Estructurales.
- Planos Eléctricos, Electrónicos y de Instrumentación y Control.

Todos los planos preparados tienen escalas apropiadas, y están en formato A1.

6.5 Elaboración de especificaciones técnicas

El documento de las especificaciones técnicas ha sido dividido en Generales y Particulares. Dentro de las Generales, entre otras cosas, se presentan a las definiciones, los términos, las abreviaturas y las unidades de medida que se emplearán para todo trámite, gestión o interpretación de términos, acciones, mediciones y pagos; además, los campamentos del Contratista, el alcance y control general de los trabajos y las responsabilidades del Contratista con la población y con ETAPA EP.

Las Especificaciones Particulares se refieren a los rubros específicos necesarios para los diferentes componentes del tratamiento diseñado, pudiéndose encontrar lo referente a los accesorios y equipos diseñados, así como una sección para las especificaciones de las obras eléctricas y de control SCADA.

En general, las especificaciones técnicas han sido elaboradas tomando como base, la información disponible en ETAPA EP, así como, la que dispone el Consorcio y la obtenida de los proveedores.

En el Anexo 14 se ha colocado el documento de Especificaciones Técnicas del proyecto, dividido en Anexo 14a: Condiciones Generales; Anexo 14b: Especificaciones técnicas generales; Anexo 14c: Especificaciones técnicas particulares de materiales, accesorios y equipos; Anexo 14d: Especificaciones técnicas arquitectónicas y Paisajísticas; Anexo 14e: Especificaciones técnicas eléctricas de fuerza, control, instrumentación, telecomunicaciones y monitoreo y; Anexo 14f: Especificaciones del centro de control SCADA. Además, en el Anexo 14g, en formato digital, se incluyen los catálogos de los diferentes equipos y, en el Anexo 14h, también en formato digital, los catálogos eléctricos y electrónicos.

6.6 Elaboración del estimativo del costo probable de la construcción

6.6.1 Estimación de las cantidades de obra

Los presupuestos y costos de las obras resultantes de los diseños definitivos del proyecto han sido elaborados partiendo del cálculo de los volúmenes de obra para cada rubro.

En general los volúmenes de obra se calcularon para los principales rubros medibles y en el caso de otros rubros que dependen de factores no medibles con precisión como son la excavación en diferentes tipos de suelos que depende de las características del suelo, se hicieron estimaciones de acuerdo con los resultados de los sondeos de suelo realizados y con la experiencia del Consultor en trabajos similares.

Las estimaciones de las cantidades se realizaron utilizando hojas electrónicas con los datos resultantes de los cálculos de los diseños hidráulicos y de obras civiles normales para este tipo de obras. Estas estimaciones tendrán otras instancias de cálculo cuando en la etapa de contratación se pida a los oferentes que realicen, bajo su responsabilidad, unas nuevas estimaciones y, finalmente el cálculo del volumen real, que será establecido durante la ejecución de los trabajos, midiendo la obra ejecutada.

6.6.2 Análisis de precios unitarios

El análisis de precios unitarios, corresponde a las especificaciones técnicas propias para este tipo de obras, y se ha considerado la información y las características del sitio donde serán ejecutadas, con los componentes de materiales, mano de obra, equipos y transporte.

El formato de presentación de los precios unitarios es el establecido por ETAPA EP, es decir, el correspondiente al programa INTERPRO.

6.6.3 Elaboración del presupuesto

En Anexo 15 se presenta los siguientes documentos relacionados con el Costo Probable de la Construcción: Resumen general del presupuesto, detalle del presupuesto, cantidades de obra, cotizaciones (en archivo digital) y precios unitarios (en archivo digital).

El presupuesto detallado está dividido por obras con la descripción de cada rubro, unidad de medida, precio unitario y precio total, habiendo sido totalizado para cada obra y el presupuesto general. Dentro de este presupuesto general, en una sección separada, se incluyen a los componentes comunes como presupuestos eléctrico y electrónico, de monitoreo y control; ambiental; y la puesta en marcha.

Como ha sido explicado en la sección de Cronograma de Construcción, el proyecto será ejecutado en una sola etapa, por lo que, el presupuesto de obras corresponde a la totalidad de las obras diseñadas.

El presupuesto ha sido dividido en los siguientes siete capítulos principales:

- Obras preliminares con el movimiento de tierras para la conformación de las plataformas y las vías.
- Las obras, equipos, accesorios y complementos requeridos para el tratamiento del agua.

- Las obras, equipos, accesorios y complementos requeridos para el tratamiento de lodos.
- Los edificios y obras complementarias como redes de: agua potable, de alcantarillado sanitario y pluvial, de agua de servicios. En esta parte se incluye el paisajismo.
- Componente ambiental.
- Puesta en marcha.

En la Tabla 6-1 se presenta el resumen del presupuesto.

Tabla 6-1: Resumen del Presupuesto del Proyecto

ÍTEM	COMPONENTE	INVERSIÓN (DÓLARES)
1.	Obras Preliminares	
2.	Tratamiento del agua	
3.	Tratamiento de lodos	
4.	Edificios y obras complementarias	
5.	Obras eléctricas y de control	
6.	Componente ambiental	
7.	Puesta en marcha	
	Subtotal (SIN IVA)	

6.7 Elaboración de los documentos básicos de licitación

En el Anexo 16, se ha dispuesto la memoria con la descripción de los documentos que se requieren para licitar la construcción de las obras. Estos documentos han sido elaborados considerando los modelos establecidos en la LOSNCP, su reglamento y las resoluciones del SERCOP adaptándoles para las condiciones particulares de las obras de la PTAR Guangarcucho, en su Versión SERCOP 2.0 del 6 de febrero de 2017 que contempla los siguientes documentos:

- I. Condiciones particulares del pliego de licitación de obras.
- II. Condiciones Generales para la contratación de obras.
- III. Formularios de Contratación de Obras.
- IV. Condiciones particulares del contrato de licitación de obras.
- V. Condiciones Generales de los contratos de licitación de obras.

A estos documentos, como un documento adicional, se ha generado el Anexo 5: Evaluación de Ofertas.

Para la elaboración de los pliegos se han considerado además otros modelos de pliegos elaborados por ETAPA EP, sobre todo en lo relativo a la importación de los bienes provenientes del exterior que, en el caso de la PTAR Guangarcucho, son numerosos.

6.8 Estudio arqueológico

Por requerimientos del Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, INPC, de estricto cumplimiento, como parte de las actividades del contrato complementario, se realizó el estudio arqueológico del predio previsto para la construcción de la nueva planta de tratamiento Guangarcucho.

Dentro de las conclusiones del informe se dice que:

- A este respecto debemos afirmar que no hemos visualizado en nuestras muestras cerámicas de Guangarcucho indicios del negativo que Bennet (1946) encontró en pequeña proporción en el denominado “Huancarcucho Substyle” (Bennet; 1946:25, 27).
- Tampoco hemos podido recuperar el llamado “Red on Buff Fine War” (Fina cerámica de Rojo sobre Ante) pues nuestros especímenes pertenecen en su mayoría a la “Thick Ware Styles” (cerámica de espesor gruesos) hecho que es ratificado por el mismo Bennett (1946) al referirse a la cerámica de los sitios concentrados en las haciendas de Huancarcucho y Monjashuaico.

El estudio arqueológico fue presentado al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, INPC, Regional 6, el 6 de marzo de 2017 y fue aprobado por el INPC el 6 de abril de 2017.

En el Anexo 17 ha sido dispuesto el Informe del Estudio Arqueológico.

Sección 7 BIBLIOGRAFÍA

Melcer, H., Dold, P.L., Jones, R.M., Bye, C.M., Takacs, I., Stensel, H.D., Wilson, A.W., Sun, P. and Bury, S. (2003). Methods for Wastewater Characterization in Activated Sludge Modeling, WERF Report (Project 99-WWF-3).

Mamais, D., Jenkins, D. and Pitt, P. (1993). A Rapid Physical Chemical Method for the Determination of Readily Biodegradable Soluble COD in Municipal Wastewater, *Wat. Res.*, 27(1), pp195 - 197.

Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design (2008). IWA Publishing, London, U.K.

Metcalf and Eddy/AECOM (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, McGraw-Hill, New York.

Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, Ex IEOS, (ahora SENAGUA), 1993.

California State University. Operation of Wastewater Treatment Plants, Vol I, 4th ed., Office of Water Programs, California State University, Sacramento Foundation.

United States Environmental Protección Agency (1999). Wastewater Technology Fact Sheet Chlorine Disinfection. Office of Water, Washington, D.C. EPA 832-F-99-062.

United States Environmental Protección Agency (1999). Wastewater Technology Fact Sheet Ultraviolet Disinfection. Office of Water, Washington, D.C. EPA 832-F-99-064.

United States Environmental Protección Agency (2000). Wastewater Technology Fact Sheet Oxidation Ditches. Office of Water, Washington, D.C. EPA 832-F-00-013.

United States Environmental Protección Agency (1982). Process Design and Cost Estimating Algorithms for the Computer Assisted Procedure for Design and Evaluation of Wastewater Treatment Systems (CAPDET). Washington D.C. January 1982. PB82-190455.

Diseño estructural: normas ACI-350-10.

Diseño estructural: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

Diseño eléctrico, iluminación interior: normativa ISO 8995:2002 – CIE S 008/E-2001 Lighting of Indoor Work Places.

Diseño eléctrico, iluminación exterior: norma INEN 069 “ALUMBRADO PÚBLICO” y CIE 140- 2000 Road Lighting Calculations.