

MONOGRAFIA DEL TRABAJO REALIZADO EN LA EMPRESA SUEZ EN EL PROYECTO “ESTUDIO, DISEÑO
CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADOS SANITARIOS
Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE DAVID Y ALREDEDORES, PROVINCIA DE
CHIRIQUÍ PANAMÁ”

ESTUDIANTE: JUAN CAMILO ROMERO ROJAS

PRESENTADO A
ING. FABIO EDUARDO DIAZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ
2022

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	5
2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3	MARCO CONCEPTUAL.....	6
3.1	Fuentes de aguas residuales.....	6
3.2	Aguas Residuales Domésticas, (ARD):.....	6
3.3	Aguas Residuales no Domésticas, (ARnD):.....	7
3.4	Parámetros para medir la calidad de las AR	7
3.5	Sistema técnico para el tratamiento de aguas residuales.....	8
3.6	Procesos de tratamiento de AR	9
3.6.1	Procesos de tratamientos físicos	9
3.6.2	Procesos de tratamiento químicos unitarios	11
3.6.3	Procesos de tratamientos biológicos.....	11
3.7	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Resolución 0330 del 2017 y 0799 de 2021:	12
3.8	A. DGNTI – COPANIT: DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS Y TECNOLOGÍA, INDUSTRIAL. (DGNTI). Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas (COPANIT).....	13
3.9	CUADRO COMPARATIVO DE LA NORMATIVIDAD DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DE COLOMBIA Y PANAMÁ.....	13
4	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	17
4.1	Grupo de obras N°1	19
4.1.1	Fase de Estudios y Diseños	19
4.1.2	Fase de Construcción.....	20
4.1.3	Fase de Operación y Mantenimiento.....	20
4.2	PLAN MAESTRO	21
4.3	GRUPOS DE OBRAS 2	21
4.3.1	ETAPA DE ESTUDIOS Y DISEÑO	21
4.3.2	ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	22
4.3.3	ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	22
5	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	22
5.1	UBICACIÓN DE LA PTAR	23
5.2	POBLACION IMPACTADA.....	23
5.2.1	Resumen Índices de Crecimiento Adoptados	28
5.2.2	PROYECCION DE POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2048	29

5.2.3	CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LA PTAR DE LA CIUDAD DE DAVID	30
5.3	LÍNEA DE TRATAMIENTO	32
5.3.1	DESBASTE MEDIANO Y ESTACIÓN DE BOMBEO PTAR	34
5.3.2	PRETRATAMIENTO	35
5.3.3	TRATAMIENTO BIOLÓGICO	38
5.3.4	DESINFECCIÓN	44
5.3.5	LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS	48
6	Actividades ejecutadas por el estudiante	56
7	CONCLUSIONES	58
8	Bibliografía	59

CONTENIDO DE ESQUEMAS

Esquema No. 1	ilustración del proyecto	19
Esquema No. 2	Etapas del proyecto	21
Esquema No. 3	Diagrama de Flujo del proceso	33
Esquema No. 4	Maqueta de la PTAR.....	34
Esquema No. 5	Desbaste Mediano, Estación de Bombeo PTAR.....	34
Esquema No. 6	Canal Parshall Desbaste Mediano PTAR	35
Esquema No. 7	Desarenador.....	37
Esquema No. 8	Proceso de tratamiento Biológico.....	39
Esquema No. 9	Reactor Biológico	40
Esquema No. 10	Clarificador Secundario.....	43
Esquema No. 11	Tanque contacto de cloro	45
Esquema No. 12	Almacenamiento y dosificación de cloro	46
Esquema No. 13	Tratamiento de lodos.....	48
Esquema No. 14	Pre-espesador	49
Esquema No. 15	Lodo pre-espesado.....	51
Esquema No. 16	Espesamiento de lodos	52
Esquema No. 17	Digestores anaerobios	54
Esquema No. 18	Contenedor Kombio.....	55
Esquema No. 19	Organigrama del proyecto	56

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla No. 1 Acrónimos	6
Tabla No. 2 Cuadro comparativo de la normatividad	13
Tabla No. 3 Sistemas de aireación	16
Tabla No. 4 Resultados de laboratorio de tres muestras de aguas superficiales	18
Tabla No. 5 Población por Corregimiento Censo 1990	24
Tabla No. 6 Población por Corregimiento Censo 2000	24
Tabla No. 7 Población por Corregimiento Censo 2010	24
Tabla No. 8 Índices de Crecimiento 1990-2000	26
Tabla No. 9 Índices de Crecimiento 2000-2010	27
Tabla No. 10 Índices de Crecimiento.....	29
Tabla No. 11 Proyección de Población Total Año 2048	29
Tabla No. 12 Proyección de Población Sector Este y Oeste Año 2048	30
Tabla No. 13 Caudales Totales Alcantarillado 2048.....	31
Tabla No. 14 Caudales Alcantarillado Sector Este y Oeste 2048 (Incluye las Área a Construir).....	31
Tabla No. 15 Caudales Totales PTAR Año 2048 (incluye Sector Este y Oeste y los futuros).....	32
Tabla No. 16 Caudales PTAR Sectores Este y Oeste Año 2048	32
Tabla No. 17 Dimensionamiento de las rejillas de desbaste mediano.....	36
Tabla No. 18 características de las rejillas finas adoptadas	36
Tabla No. 19 condiciones de operación desarenadores	38
Tabla No. 20 Caudal de diseño	39
Tabla No. 21 Parámetros del Reactor Biológico.....	41
Tabla No. 22 Dimensiones de los Reactores	41
Tabla No. 23 Caudales de Dimensionamiento	42
Tabla No. 24 Características de Decantadores.....	43
Tabla No. 25 Condiciones de operación	44
Tabla No. 26 Caudal del tanque Contacto de Cloro.....	44
Tabla No. 27 Dimensiones del Tanque Contacto de Cloro.....	45
Tabla No. 28 Consumo de Cloro	46
Tabla No. 29 Equipos para la dosificación	47
Tabla No. 30 Bombeo al Pre-espesamiento.....	48
Tabla No. 31 Tamizado de lodos Biológicos.....	49
Tabla No. 32 Pre-espesamiento por gravedad	50
Tabla No. 33 Características pre-espesamiento por gravedad	50
Tabla No. 34 Lodo pre-espesado	50
Tabla No. 35 DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESADOR	52
Tabla No. 36 Tanque de lodos espesados	53

1 INTRODUCCIÓN

La población de América Latina se estima en 667 millones de habitantes, que corresponden aproximadamente al 13,5% de la superficie emergida del planeta. Colombia por su parte, cuenta con 48.258.494 habitantes según (DANE, 2018) y Panamá con 4.279.000 personas, (Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), 2022). Esta población contamina, mediante los sectores económicos que involucran los primarios, conocidos también como agropecuarios, los sectores secundarios o industriales y terciarios que están formados por todas aquellas actividades que no producen una mercancía, pero abastecen al mercado de servicios y bienes de la industria; todos estos dejan desechos en el ambiente, y contaminación de las aguas. Y conociendo que el agua es un recurso que se puede agotar si no lo tratamos de un modo adecuado, se han creado métodos para lograr la reutilización de esta.

Las aguas residuales son las aguas que han sido utilizadas previamente en actividades domésticas, comerciales e industriales y que, para ser tratadas, deben ser conducidas por medio de una red de alcantarillas hasta las estaciones de depuración donde son procesadas, reutilizadas o devueltas al ambiente en condiciones adecuadas. Uno de los puntos fundamentales es lograr la desinfección de líquidos contaminados para preservar el medio ambiente por medio del uso de plantas de tratamiento de aguas residuales, reutilizando de la mejor manera este recurso.

Teniendo en cuenta lo anterior, el interés de este documento es dar a conocer el alcance de un proyecto como es el **“Estudio, diseño construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillados sanitarios y tratamiento de aguas residuales de la ciudad de David y alrededores, provincia de Chiriquí Panamá”**, reconociendo sus componentes y procesos, junto con las actividades, acciones y propuestas que un estudiante de ingeniería civil de la Universidad Santo Tomas, realiza en un megaproyecto como este.

OBJETIVO GENERAL

Determinar los componentes y procesos del proyecto **“Estudio, diseño construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillados sanitarios y tratamiento de aguas residuales de la ciudad de David y alrededores, provincia de Chiriquí Panamá”**, donde se muestra la integración e interrelación del estudiante con las diferentes etapas de planeación, ejecución y control de esta.

2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Reconocer los componentes del proyecto **“Estudio, diseño, construcción, operación y mantenimiento del sistema de alcantarillados sanitarios y tratamiento de aguas residuales de la ciudad de David y alrededores, provincia de Chiriquí Panamá”**.
- ✓ Identificar el proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto y su funcionamiento.
- ✓ Mostrar la participación del estudiante en las diferentes etapas de planeación, ejecución y control de la obra en la empresa Suez.

3 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual reúne los conceptos fundamentales que serán utilizados en el transcurso del documento, teniendo en cuenta los lineamientos que entrega la normatividad del RAS y la COPANIT, correspondiente a Colombia y Panamá respectivamente.

El significado de los acrónimos empleados en el presente.

Tabla No. 1 Acrónimos

AR	Aguas Residual
ARD	Aguas Residual Domesticas
ARnD	Aguas Residual no Domesticas
ARI	Aguas Residuales Industriales
MO	Materia Orgánica
ST	Solidos Totales
SV	Solidos Volátiles
SS	Solidos Suspendidos
SSV	Solidos Suspendidos Volátiles
SD	Solidos Disueltos
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
SSED	Sólidos Sedimentables.
AOX	Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles.
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno, medida a los cinco (5) días.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.

3.1 Fuentes de aguas residuales

Las Aguas Residuales (AR) están compuestas por las aguas usadas y los sólidos, que por uno u otro medio se introducen en las tuberías y son transportadas mediante los sistemas de alcantarillado. En general, se consideran aguas residuales domésticas (ARD) los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan aguas residuales municipales (ARM) los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal; y se llaman aguas residuales industriales (ARI) las AR provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra a denominar aguas negras a las AR provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales. Y aguas grises a las AR provenientes de tinas, duchas, lavamanos y lavadoras, aportantes de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), fósforo, grasas y coliformes fecales. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

3.2 Aguas Residuales Domésticas, (ARD):

Son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios y que correspondan a:

- a) Descargas de los retretes y servicios sanitarios.
- b) Descargas de los sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), de las áreas de cocinas y cocinetas, de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado de paredes y pisos y del lavado de ropa (No se incluyen las de los servicios de lavandería industrial).

Viviendas unifamiliares y bifamiliares.

Incluye:

- a) Vivienda unifamiliar: Es una construcción que contiene una (1) unidad de vivienda destinada para el alojamiento de una (1) familia.
- b) Vivienda bifamiliar: Es una construcción que contiene dos (2) unidades de vivienda con vías de acceso diferentes, destinadas para el alojamiento de dos (2) familias.

Actividades industriales, comerciales o de servicios que generan ARD y a los prestadores del servicio público de Alcantarillado.

Incluye:

a) Las actividades industriales, comerciales o de servicios que generan ARD y a los prestadores del servicio público de alcantarillado agrupados según la carga, a saber:

- ✓ Carga menor o igual a 625,00 Kg/día DBO5
- ✓ Carga mayor a 625,00 Kg/día y menor o igual a 3.000,00 Kg/día
- ✓ Carga mayor a 3.000,00 Kg/día DBO5

3.3 Aguas Residuales no Domésticas, (ARnD):

Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas, (ARD).

Parámetros microbiológicos de análisis y reporte en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales.

Se realizará el análisis y reporte de los valores de la concentración en Número Más Probable (NMP/100mL) de los Coliformes Termo tolerantes presentes en los vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) mediante las cuales se gestionen excretas humanas y/o de animales a cuerpos de aguas superficiales, cuando la carga másica en las aguas residuales antes del sistema de tratamiento es mayor a 125,00 Kg/día de DBO5. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

3.4 Parámetros para medir la calidad de las AR

Las mediciones cuantitativas son las herramientas más importantes para la práctica de la ingeniería. En el campo de la ingeniería Sanitaria y Ambiental han quedado atrás las épocas en las que se describe el agua simplemente como turbia, cristalina, etc., ya que se han desarrollado diversas técnicas para medir la calidad de las aguas residuales.

Cualquier problema relacionado con la Ingeniería Sanitaria y Ambiental debe ser definido inicialmente por medio de métodos analíticos que se desarrollan en el laboratorio o en el campo.

Estos resultados son la base de todo diseño y control, una vez las obras estén en operación. Algunos parámetros más importantes utilizados en la caracterización de aguas residuales son:

Sólidos

Su presencia afecta directamente la cantidad de lodo que se produce en el sistema de tratamiento. Los diferentes tipos de sólidos son los siguientes: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), sólidos suspendidos (SS), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos disueltos (SD) y sólidos sedimentables (SSED).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Indica la cantidad de oxígeno, utilizado por los microorganismos en la estabilización de la MO biodegradable, bajo condiciones aeróbicas.

Determina química de oxígeno DQO

Determina el contenido de materia orgánica (MO) de las aguas residuales (AR), oxidando casi completamente todos los compuestos orgánicos a CO₂ y agua.

Nitrógeno

Es necesario para evaluar la tratabilidad de las AR por tratamientos biológicos.

Fósforo

Es de importancia secundaria en la mayor parte de las aguas residuales domésticas (ARD), pero puede ser vital en residuos industriales y en lodos de AR.

Acidez

Condición del agua para disminuir el pH por debajo de 7. Es la capacidad cuantitativa de una solución acuosa para reaccionar con iones hidroxilo.

Alcalinidad

Indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido, y proporciona información sobre las relaciones de iones bicarbonato y carbonato y la evolución de la química del agua.

Metales y Metaloides

Son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida biológica, en altas concentraciones pueden perjudicar a los seres vivos y bioacumularse; su alta concentración se puede dar por acciones como minería podemos encontrar Arsenio, Cadmio, Cinc, Cobre, Cromo, Hierro, Mercurio, Níquel (Salguero, 2011), entre otros. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015)

3.5 Sistema técnico para el tratamiento de aguas residuales

Teniendo en cuenta las normas, el objetivo básico del tratamiento de las aguas es proteger la salud y promover el bienestar de la sociedad en general, es por esto, que se aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente, es por esta razón, se crean espacios físicos, equipados y destinados para la realización de procesos físicos, químicos y biológicos con el fin de descontaminar las aguas; estos espacios son llamados PTAR o Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

En la formulación, planteamiento y diseño de un sistema de tratamiento se pueden considerar objetivos diferentes, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, así como criterios para descargas de afluentes y motivaciones ecológicas.

Los contaminantes presentes en las AR pueden eliminarse a través de métodos individuales, los cuales se clasifican en operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios, descritos a continuación:

- Las operaciones físicas unitarias son aquellas en las cuales predominan las acciones de fuerzas físicas; haciendo parte de ella el desbaste, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, transferencia de gases y filtración.
- Los procesos químicos unitarios son aquellos en donde la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos, o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas. Fenómenos como la precipitación, adsorción y la desinfección son ejemplos de los procesos de aplicación más comunes en el tratamiento de las AR.
- Los procesos biológicos unitarios son aquellos en donde la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo gracias a la actividad biológica. Su principal aplicación es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes en el AR, en forma tanto coloidal como en disolución. (Salguero, 2011)

3.6 Procesos de tratamiento de AR

3.6.1 Procesos de tratamientos físicos

Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de las AR, en las que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias, dado que el origen de estas operaciones se halla en la observación directa de fenómenos que se daban en la naturaleza. Constituyen los primeros métodos de tratamientos empleados por el hombre. Las operaciones físicas más comúnmente empleadas en el tratamiento del AR son:

Medición caudal

Control y seguimiento de procesos, informes de descargas

Desbaste

Eliminación de sólidos gruesos y sedimentables por intercepción (retención en superficie)

Dilaceración

La dilaceración tiene por objeto triturar las materias sólidas arrastradas por el agua. Estas materias en lugar de separarse del efluente bruto, se las reduce a un tamaño menor y uniforme y continuará en el circuito de agua hacia las siguientes fases de tratamiento.

Homogeneización de caudal

La neutralización de las cargas eléctricas de las partículas contaminantes presentes en forma disuelta o suspendida dando lugar a la formación de aglomerados. Puede darse mediante la aplicación de corriente eléctrica o agentes químicos. La homogeneización del caudal es una medida que se emplea para superar los problemas de explotación que estas variaciones provocan en las instalaciones, y para mejorar la efectividad de los procesos de tratamiento situados aguas abajo.

Floculación

Se adicionan al agua sustancias químicas llamadas floculantes, las cuales, por medio de un proceso químico, ayudan a la aglomeración de las partículas pequeñas y coaguladas las cuales dan paso a los llamados flóculos. Posteriormente, dichos flóculos van aumentando su tamaño y se precipitan para luego ser retirados en las etapas de sedimentación y filtración.

Sedimentación

Consiste en promover condiciones de reposo en el agua, para remover, mediante la fuerza gravitacional, las partículas en suspensión más densas. Este proceso se realiza en los desarenadores, presedimentadores, sedimentadores y decantadores; en estos últimos, con el auxilio de la coagulación

Flotación

El objetivo de este proceso es promover condiciones de reposo, para que los sólidos cuya densidad es menor que la del agua asciendan a la superficie de la unidad de donde son retirados por desnatado. Para mejorar la eficiencia del proceso, se emplean agentes de flotación. Mediante este proceso se remueven especialmente grasas, aceites, turbiedad y color. Los agentes de flotación empleados son sustancias espumantes y microburbujas de aire

Filtración

Los sistemas de filtración tratan el agua pasándola a través de lechos de materiales granulares que retiran y retiene los contaminantes. Los diferentes sistemas de filtrado ya sean convencionales, directos, lentos de arena y de tierra realizan una buena eliminación de una gran parte de protozoos, bacterias y virus las cuales no hayan sido extraídas anteriormente.

De igual forma, consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso. Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias. Los medios porosos utilizados además de la arena —que es el más común— son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena; no es recomendable el uso de materiales putrescibles.

Microtamizado

La microfiltración es un proceso de separación física en el que el tamaño de la luz de paso determina el grado de eliminación de los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las partículas de

mayor tamaño que la luz de paso de la malla filtrante son retenidas totalmente, aunque debido a la acumulación de sólidos sobre las superficies de la banda se crea una “manta filtrante” capaz de retener partículas de menor tamaño que la luz de paso empleada. (Vargas, 2012)

3.6.2 Procesos de tratamiento químicos unitarios

Son los procesos empleados en el tratamiento de las AR, en los que las transformaciones se producen mediante reacciones químicas. Con el fin de alcanzar los objetivos de tratamiento del AR, los procesos químicos unitarios se llevan a cabo en combinación con las operaciones físicas unitarias. Las principales aplicaciones son:

Precipitación química

Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria empleadas en tratamientos fisicoquímicos.

La precipitación química consiste en adicionar al agua una **sustancia** química soluble cuyos iones reaccionan con los de la **sustancia** que se desea remover, formando un precipitado. Tal es el caso de la remoción de hierro y de dureza carbonatada (ablandamiento), mediante la adición de cal.

Intercambio de iones

Como su nombre lo indica, este proceso consiste en un intercambio de iones entre la sustancia que desea remover y un medio sólido a través del cual se hace pasar el flujo de agua. Este es el caso del ablandamiento del agua mediante resinas, en el cual se realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio. Cuando la resina se satura de iones de calcio y magnesio, se regenera introduciéndola en un recipiente con una solución saturada de sal.

Adsorción

La adsorción consiste en la remoción de iones y moléculas presentes en la solución, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente, mediante la acción de las fuerzas de interfaz. Este proceso se aplica en la remoción de olores y sabores, mediante la aplicación de carbón activado en polvo.

Desinfección

Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades

Desinfección con cloro

Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades

3.6.3 Procesos de tratamientos biológicos

El tratamiento biológico de aguas residuales se lleva a cabo mediante una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que se destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua. Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento. Cuando se

reproducen, se agregan entre ellos y forman unos flóculos macroscópicos con suficiente masa crítica como para decantar en un tiempo razonable.

La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen nitrógeno y fósforo. Es uno de los tratamientos más habituales, no solo en el caso de aguas residuales urbanas, sino en buena parte de las aguas industriales, por su sencillez y su bajo coste económico de operación.

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente nitrógeno y fósforo, y, por último, en el caso de sistemas aerobios, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. El oxígeno no es imprescindible, ya que los microorganismos son capaces de degradar la materia orgánica también en condiciones anaerobias. Este aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

En el metabolismo celular, juega un papel fundamental el aceptor final de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto, además, tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas residuales. A continuación, se distinguen tres casos:

- a) **Sistemas aerobios:** el oxígeno es el aceptor final de electrones preferido por cualquier célula. Si existe oxígeno en el medio, éste será el aceptor final de electrones, lo que conlleva que se obtengan rendimientos energéticos elevados y una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias en condiciones aerobias.
- b) **Sistemas anaerobios:** en este caso el aceptor final de electrones es la propia materia orgánica que actúa como fuente de carbono. Como resultado de este metabolismo, la mayor parte del carbono se destina a la formación de subproductos del crecimiento (biogás, que es CO₂ y metano) mientras que la fracción de carbono utilizada para la síntesis celular es baja. De cara al tratamiento, este hecho supone una doble ventaja: se produce poca cantidad de lodos a la vez que se produce biogás, el cual puede ser revalorizado. Normalmente se aprovecha para producir energía eléctrica, la cual se auto consume en la propia instalación.
- c) **Sistemas anóxicos:** se denominan así los sistemas en los que el aceptor final de electrones no es el oxígeno ni tampoco la materia orgánica. En condiciones anóxicas el aceptor final de electrones suelen ser los nitratos, los sulfatos, el hidrógeno, etc. Cuando el aceptor final de electrones es el nitrato, como resultado del proceso metabólico, el nitrógeno de la molécula de nitrato es transformado en nitrógeno gas. Así pues, este metabolismo permite la eliminación biológica del nitrógeno del agua residual (desnitrificación). (Salguero, 2011)

3.7 Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS Resolución 0330 del 2017 y 0799 de 2021:

Establece los requisitos técnicos que deben cumplirse durante las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y otras decisiones en las plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. (Ministerio de vivienda Ciudad y Territorio, 2017) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021)

3.8 A. DGNTI – COPANIT: DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS Y TECNOLOGÍA, INDUSTRIAL. (DGNTI). Comisión Panameña de Normas Industriales y Técnicas (COPANIT).

Establece los requisitos técnicos que deben cumplirse durante las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y otras decisiones en las plantas de tratamiento de aguas residuales en Panamá. (Ministerio de Comercio e Industrias Republica de Panama, 2000)

3.9 CUADRO COMPARATIVO DE LA NORMATIVIDAD DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DE COLOMBIA Y PANAMÁ

Tabla No. 2 Cuadro comparativo de la normatividad

RAS	COPANIT
MARCO LEGAL	
La resolución 799 del 17 de marzo del 2021 reglamenta los requisitos técnicos para los vertimientos puntuales de aguas residuales obteniendo una adecuada asesoría ambiental y acompañamiento en el cumplimiento de esta, mediante un diagnóstico de alternativas, realizando muestreos antes y después del vertimiento. Acogiéndose al plan de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos que amplía los plazos para las empresas que opten por implementarlo. Esta ha sido oficializada como la modificación de la resolución 0330 del 2017	La resolución 011 del 01 de enero del 2008 que normatiza el reglamento técnico DGNTI-COPANIT 39- 2000 “Agua. descarga de efluentes líquidos directamente a sistemas de aguas de recolección de aguas residuales” ha sido oficializado por el ministerio de comercio e industrias para modificar la resolución N 350, panamá del 25 de junio de 2000
NORMAS DE DISEÑO	
PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑOS	
VELOCIDADES MÁXIMAS EN ALCANTARILLADO SANITARIO	
La velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar 5 m/s. la velocidad máxima no deberá sobrepasar los límites de velocidad recomendados para el material del ducto a emplear y/o los accesorios correspondientes	Las siguientes son las velocidades máximas según los materiales de las tuberías. MATERIAL DEL TUBO VELOCIDAD MÁXIMA Hormigón 3,00 m/s. o 9,8 ft/s. Hierro fundido 3,00 m/s. o 9,8 ft/s. Polietileno 3,35 m/s. o 11 ft/s. PVC 3,35 m/s. o 11 ft/s.
DISEÑO PARA CÁMARAS	

<p>Las estructuras de conexión deben ubicarse como mínimo en los siguientes puntos de la red de alcantarillado: al inicio de la red; en los cambios de dirección del flujo; en los cambios de diámetro, material y pendiente del colector; en la confluencia de más de dos tuberías; y a distancia máxima de 120 m para tramos con aportes de caudal y 300 m en interceptores y emisarios finales sin aportes de caudal</p> <p>En el trazado de las redes de alcantarillado y en la localización de las estructuras de conexión deberán tenerse en cuenta los siguientes lineamientos: minimizar los cambios de velocidad en las cámaras o estructuras de conexión, minimizar los cambios de dirección, evitar que las entradas de flujo sean opuestas entre sí, evitar deflexiones entre las tuberías de entrada y salida mayores a 90°, dirigir los flujos hacia la tubería de salida y realizar acabados hidrodinámicos en la confluencia de las uniones.</p>	<p>Cuando la diferencia de cota invert, entre la tubería que entra y la que sale de una Cámara de inspección, presente como: mínimo y máximo</p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,38 m</td> <td>0,5 m para tuberías de 6" d</td> </tr> <tr> <td>0,35 m</td> <td>0,55 m para tuberías de 8" d</td> </tr> <tr> <td>0,42 m</td> <td>0,58 m para tuberías de 10" d</td> </tr> <tr> <td>0,48 m</td> <td>0,63m para tuberías de 12" d</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se deberá usar un accesorio especial a 45° de acuerdo con los detalles típicos del IDAAN que encauce el caudal con un mínimo de turbulencia. Cuando se exceda de estos valores indicados en la tabla se usará una caída de 90°.</p>	Mínimo	Máximo	0,38 m	0,5 m para tuberías de 6" d	0,35 m	0,55 m para tuberías de 8" d	0,42 m	0,58 m para tuberías de 10" d	0,48 m	0,63m para tuberías de 12" d
Mínimo	Máximo										
0,38 m	0,5 m para tuberías de 6" d										
0,35 m	0,55 m para tuberías de 8" d										
0,42 m	0,58 m para tuberías de 10" d										
0,48 m	0,63m para tuberías de 12" d										

SIFONES

<p>Los sifones invertidos están conformados por dos o más tuberías, dependiendo de la magnitud del caudal de diseño que se requiera conducir. Estas tuberías deben constar de facilidades de limpieza. La velocidad mínima de flujo para el caso de alcantarillado sanitario debe ser 1 m/s y el diámetro mínimo debe ser 200 mm (8 pulg.). Para el sistema pluvial o combinado la velocidad mínima es 1,2 m/s y el diámetro mínimo de 300 mm (12 pulg.). En cualquier caso, la velocidad mínima debe ser superior a la velocidad de autolimpieza determinada por esfuerzo cortante.</p>	<p>En el diseño de sifones, los mismos deben tener por lo menos dos tuberías de diámetro mínimo de 6" y deberán proveerse de los dispositivos necesarios para su conveniente mantenimiento. Adicionalmente deben tener carga hidráulica suficiente y tubos de diámetro apropiado para que, por lo menos, a la descarga media, la velocidad sea alrededor de un metro por segundo.</p>
--	---

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

TRATAMIENTO PRELIMINAR

REJILLAS

<p>Los filtros deben instalarse aguas arriba y aguas abajo de cualquier instalación, como una estación de bombeo, ya que pueden bloquearse con partículas grandes en el agua sin tratar. carrera de varilla de 15 a 50 mm para limpieza</p>	<p>Son básicamente parrillas de barras planas formadas por elementos rectos y paralelos, instaladas verticalmente o inclinadas, que separan sólidos, incluyendo material flotante.</p>
---	--

<p>manual y de 3 a 77 mm para limpieza mecánica de mallas. La velocidad de aproximación de la red debe ser de 0,3 a 0,6 m/s para redes de limpieza manual y de 0,3 a 0,9 m/s para redes de limpieza mecánica. En el caso de tamices de limpieza manual y mecánica, se deben utilizar velocidades de 0,3 a 0,6 m/s y de 0,6 a 1,2 m/s. En cualquier caso, la limpieza manual o mecánica no permite un orificio superior a 75 cm.</p>	<p>Se encuentran generalmente a la entrada del emisario a la planta de tratamiento.</p>
---	---

DESARENADORES

<p>Los desarenadores deben colocarse detrás de las rejillas y frente a los tanques de pre-sedimentación y las estaciones de bombeo. Los postes deben diseñarse de manera que se pueda controlar la velocidad. La velocidad debe ser de 0,2 m/s a 0,4 m/s. Se deben construir al menos dos unidades en cualquier nivel de dificultad. Cada unidad debe poder operar a su caudal de diseño mientras se limpia la otra. Se recomienda un rango de transferencia de área de 700 a 1600 m³/m²/día. Estos valores se pueden expresar como velocidades de asentamiento entre unos 30 m/h y unos 65 m/h. El tiempo de retención hidráulica debe basarse en el tamaño de las partículas a separar.</p>	<p>Son tanques en donde, con un adecuado control de velocidad, se sedimenta en el fondo la arena y otros minerales de igual o mayor gravedad específica, permaneciendo en suspensión la materia orgánica.</p>
---	---

SEDIMENTADORES PRIMARIOS

<p>El tanque de almacenamiento debe dimensionarse para el caudal máximo esperado por hora. Para tanques rectangulares, la relación de largo y ancho debe ser de 1,5:1 a 15:1. Para tanques redondos, se recomienda usar un diámetro de 3 a 60 m y una pendiente de fondo de 6 a 17%. El área máxima calculada debe seleccionarse de acuerdo con los siguientes coeficientes mínimos de desbordamiento superficial recomendados.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Para caudal medio utilizarse 33 m³/m²/día 2. Para caudal pico sostenido por tres horas utilizarse 57 m³/m²/día. 	<p>Sedimentadores primarios (opcional): Los sedimentadores o estanques de sedimentación pueden ser estructuras de concreto rectangulares o circulares, provistos de aditamentos de entrada y salida que garanticen la distribución uniforme del agua en toda la unidad, evitando así, la formación de corrientes o de espacios muertos en ellos y obligando a que el líquido tenga un recorrido total que permita cumplir con el período de retención para el cual fue calculado. Estas estructuras deberán además contar con aparatos que permitan la recolección de los lodos</p>
---	---

<p>3. Para caudal pico utilizar $65 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$.</p> <p>El tiempo de retención debe basarse en el caudal medio de aguas negras y en el volumen del tanque. El diseñador debe escoger una tasa de desbordamiento superficial según el tipo de suspensión que va a separarse y siempre y cuando se demuestre que es apropiada para lograr una eficiencia acorde con el nivel de confiabilidad de servicio en que se encuentre la planta.</p>	<p>sedimentados. De no contar con medios mecánicos, deberán proveerse a los estanques de tolvas de recolección con capacidad suficiente para el almacenamiento de lodos entre los períodos de descarga de ellos, momento en los cuales los sedimentadores dejan de prestar servicio, aprovechándose entonces para su mantenimiento.</p>
--	---

TRATAMIENTO SECUNDARIO

<p>El diseñador está en libertad de seleccionar el proceso de lodos activados que considere conveniente, siempre y cuando se garantice la eficiencia operacional, la minimización de impactos por ruidos y olores, adecuado manejo de lodos y eficiencia económica las eficiencias mínimas en remoción de DBO que se deben cumplir.</p>	<p>Se llama tratamiento secundario al proceso mediante el cual los líquidos residuales son sometidos a la actividad biológica, aeróbica, anaeróbica, y facultativa; para que la materia orgánica biodegradable sea transformada a estados inofensivos, estables, que permitan la disposición final de las aguas. Con el tratamiento secundario, se debe obtener por lo general una reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de entre 80% y 95%, según sea el tipo de tratamiento utilizado. Sedimentadores secundarios: Son estructuras ubicadas después del tratamiento secundario, de concreto u otro material aprobado; rectangulares o circulares, provistos de entradas y salidas que garanticen la distribución uniforme del agua en toda la unidad, evitando así, la formación de corrientes o de espacios muertos. Deben ser capaces de recolectar y sedimentar las sustancias convertidas en sólidos sedimentables o que se han acondicionado.</p>																																												
<p>Tabla No. 3 Sistemas de aireación</p>																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Modificación al proceso</th> <th style="text-align: left;">Modelo de flujo</th> <th style="text-align: left;">Sistema de aeración</th> <th style="text-align: left;">Eficiencia en remoción de DBO %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Convencional</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aire difuso, aireadores mecánico</td> <td>85-95</td> </tr> <tr> <td>Completamente mezclado</td> <td>flujo continuo reactor agitado</td> <td>Aire difuso, aireadores mecánico</td> <td>85-95</td> </tr> <tr> <td>Aeración escalonada</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aire difuso</td> <td>85-95</td> </tr> <tr> <td>Aeración modificada</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aire difuso</td> <td>60-75</td> </tr> <tr> <td>Estabilización por contacto</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aire difuso, aireadores mecánico</td> <td>80-90</td> </tr> <tr> <td>Aeración extendida</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aire difuso, aireadores mecánico</td> <td>75-95</td> </tr> <tr> <td>Aeración de alta tasa</td> <td>flujo continuo reactor agitado</td> <td>Aireadores mecánicos</td> <td>85-95</td> </tr> <tr> <td>Oxígeno puro</td> <td>flujo continuo reactores en serie agitadores</td> <td>Aireadores mecánicos</td> <td>85-95</td> </tr> <tr> <td>Zanjon de oxidación</td> <td>flujo pistón</td> <td>Aireadores mecánicos (tipo eje horizontal)</td> <td>75-95</td> </tr> <tr> <td>Reactor SBR</td> <td>flujo intermitente reactor agitado</td> <td>Aire difuso</td> <td>85-95</td> </tr> </tbody> </table>		Modificación al proceso	Modelo de flujo	Sistema de aeración	Eficiencia en remoción de DBO %	Convencional	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	85-95	Completamente mezclado	flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánico	85-95	Aeración escalonada	flujo pistón	Aire difuso	85-95	Aeración modificada	flujo pistón	Aire difuso	60-75	Estabilización por contacto	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	80-90	Aeración extendida	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	75-95	Aeración de alta tasa	flujo continuo reactor agitado	Aireadores mecánicos	85-95	Oxígeno puro	flujo continuo reactores en serie agitadores	Aireadores mecánicos	85-95	Zanjon de oxidación	flujo pistón	Aireadores mecánicos (tipo eje horizontal)	75-95	Reactor SBR	flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85-95
Modificación al proceso	Modelo de flujo	Sistema de aeración	Eficiencia en remoción de DBO %																																										
Convencional	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	85-95																																										
Completamente mezclado	flujo continuo reactor agitado	Aire difuso, aireadores mecánico	85-95																																										
Aeración escalonada	flujo pistón	Aire difuso	85-95																																										
Aeración modificada	flujo pistón	Aire difuso	60-75																																										
Estabilización por contacto	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	80-90																																										
Aeración extendida	flujo pistón	Aire difuso, aireadores mecánico	75-95																																										
Aeración de alta tasa	flujo continuo reactor agitado	Aireadores mecánicos	85-95																																										
Oxígeno puro	flujo continuo reactores en serie agitadores	Aireadores mecánicos	85-95																																										
Zanjon de oxidación	flujo pistón	Aireadores mecánicos (tipo eje horizontal)	75-95																																										
Reactor SBR	flujo intermitente reactor agitado	Aire difuso	85-95																																										
<p>(SUEZ, 2017)</p>																																													

LAGUNAS DE OXIDACIÓN O ESTABILIZACIÓN

<p>La ubicación del sitio para un sistema de lagunas de oxidación debe estar aguas abajo de la cuenca hidrográfica, cuando se trate de valles aluviales, en un</p>	<p>La ubicación del sitio para un sistema de laguna de oxidación debe estar aguas abajo de la cuenca hidrográfica, cuando se</p>
--	--

<p>área extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a inundaciones y avenidas. En el caso de no ser posible, deben proyectarse obras de protección. El área debe estar lo más alejada posible de urbanizaciones con viviendas ya existentes; se recomiendan las siguientes distancias:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 1.000 m como mínimo para lagunas anaerobias y reactores descubiertos. 2. 500 m como mínimo para lagunas facultativas y reactores cubiertos. 3. 100 m como mínimo para sistemas con lagunas aireadas. 	<p>trate de valles aluviales, en un área extensa y fuera de la influencia de cauces sujetos a inundaciones. La laguna debe estar a un mínimo de 100 metros de las viviendas.</p>
---	--

Fuente: (Ministerio de vivienda Ciudad y Territorio, 2017) (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021) (Ministerio de Comercio e Industrias Republica de Panama, 2000) (Ministerio de Comercio e Industria Republica de Panama, 2008)

4 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El tratamiento de las aguas residuales en la ciudad de David presentaba problemas severos, ya que la ciudad contaba con un tanque imhoff que cubría el 5% del área urbana y un 11 % de su población. En los años 70 se empezaron a manejar en varios puntos, los tanques sépticos, los cuales se encontraban en áreas de drenajes no adecuadas, con estructuras que permitían el servicio a unas 2500 a 3000 unidades ocupacionales y sus residuos se vertían de forma directa al río Risacua, produciendo daños ambientales .

Para conocer el nivel de contaminación de la fuente receptora se hizo un análisis de tres (3) muestras de agua superficial con el fin de determinar los siguientes parámetros: aceites y grasas, coliformes fecales., demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno, sólidos suspendidos totales, sólidos totales y temperatura; el cual tuvo unos resultados con altos niveles de coliformes fecales como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla No. 4 Resultados de laboratorio de tres muestras de aguas superficiales

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE	L.M.C.	LÍMITE
Aceites y Grasas	AyG	mg/L	SM 5520 B modificado	< 10,00	(*)	10	< 10
Coliformes Fecales*	C.F.	UFC / 100 mL	SM 9222 D	12400	± 209,60	1	< 250,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	SM 5210 B modificado	< 2,00	(*)	2	< 3,00
Oxígeno Disuelto**	OD	mg/L	SM 4500 O G	6,9	(*)	2	> 7,00
Potencial de Hidrógeno	pH	UpH	SM 4500 H+ B	6,69	± 0,02	0,1	6,50 – 8,50
Sólidos Suspendidos Totales	S.S.T.	mg/L	SM 2540 D	28	± 1,84	7	< 50,00
Sólidos Totales	S.T.	mg/L	SM 2540 B	334	± 1,73	9	NA
Temperatura	TN T°	Oc	SM 2550 B	29,8	± 0,16	-20	±3°C

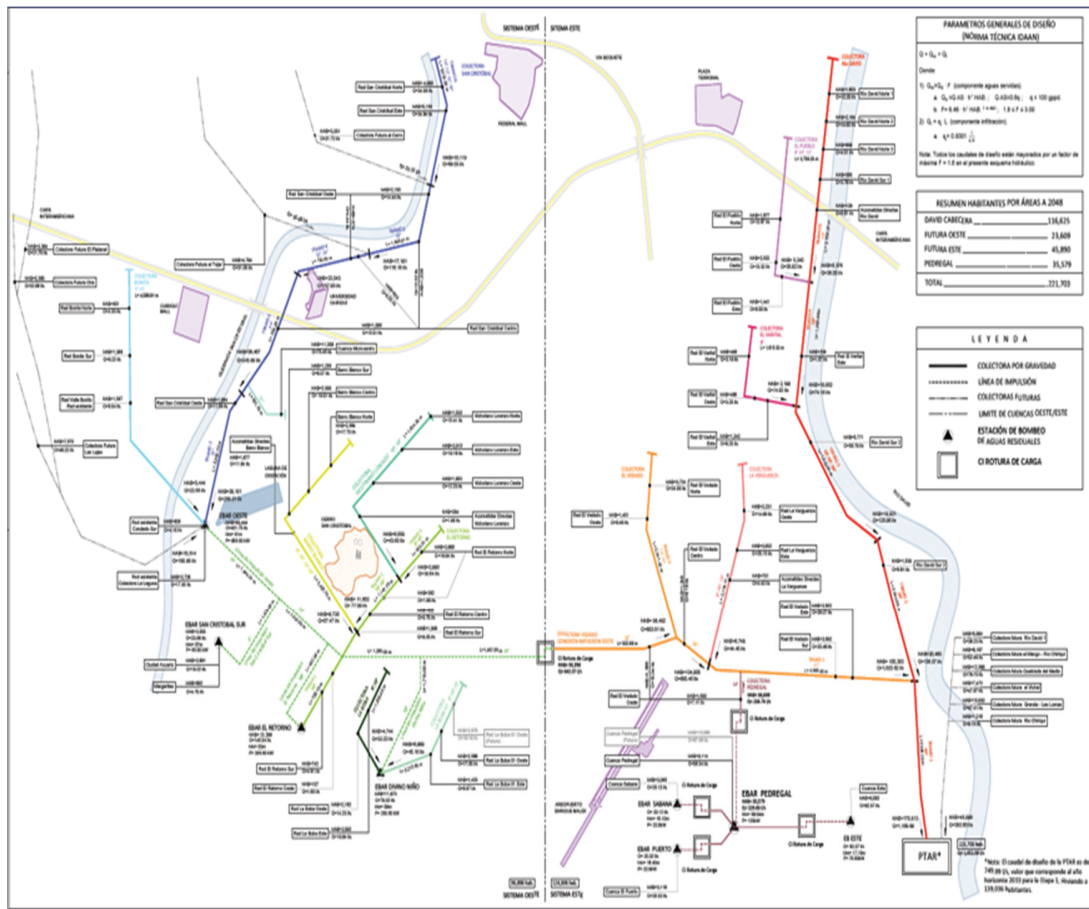
Fuente: (LAB, s.f.)

Notas:

- ✓ Los parámetros que están dentro del alcance de la acreditación para los análisis se encuentran en la resolución de aprobación por parte del Consejo Nacional de Acreditación.(LAB, s.f.)
- ✓ La incertidumbre reportada corresponde a un nivel de confianza del 95% (K=2).
- ✓ (*) Incertidumbre no calculada.
- ✓ *Parámetro subcontratado
- ✓ ** Parámetros que no están dentro del alcance de acreditación.
- ✓ N.A: No Aplica
- ✓ Las muestras se mantendrán en custodia por diez (10) días calendario luego de la recepción de este reporte por parte del cliente, concluido
- ✓ este período se desechará(n). Se considera dentro de los diez días calendario, los tiempos de preservación de cada parámetro (de acuerdo
- ✓ al método de análisis aplicado).
- ✓ Los resultados presentados en este documento solo corresponden a las muestras analizadas.

De otra parte, el crecimiento de la ciudad fue ahondando la problemática, ya que el desarrollo comercial, habitacional y de turismo exigía mayor calidad en los servicios públicos. Por lo anterior, el gobierno ha desarrollado el proyecto para la “AMPLIACIÓN DEL SISTEMAS DE SANEAMIENTO, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE DAVID Y ALREDEDORES, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ”; distribuyendo los estudios, diseños y obras de construcción en dos (2) proyectos independientes denominados; Grupo de Obras 1, y Grupo de Obras 2, El Grupo de Obras 1, está compuesto por el proyecto de construcción de la Colectora Este, derivados en diferentes componentes de acuerdo a las etapas, y el Grupo de Obras 2, está compuesto por el proyecto de construcción de la Colectora Oeste, derivados de igual forma en diferentes componentes de acuerdo a las etapas establecidas.

Esquema No. 1 ilustración del proyecto



Fuente: (SUEZ, 2017)

A continuación, se describen los componentes de cada uno de los grupos.

4.1 Grupo de obras N°1

4.1.1 Fase de Estudios y Diseños

✓ Componente 1

Estudios y Diseños de la Colectora Principal, Red de Alcantarillado Sanitario, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Este, Edificio de Administración Regional, Canalización de zanja madre, Cerca Perimetral, Vías de Acceso, Extensiones de Línea Trifásica, ampliación de acometida eléctrica y demás obras relacionadas de la Zona Este de David, Pedregal y Las Lomas, de acuerdo al plan de administración del proyecto, que permite la ejecución, control y seguimiento, identificación y gestión de riesgos y el cierre de fases del proyecto.

4.1.2 Fase de Construcción

✓ Componente 2.

Construcción de la Red de Alcantarillado Sanitario (redes, colectoras principales y secundarias, Estaciones de Bombeo y líneas de impulsión varias de la Zona Este de David, Pedregal.

✓ Componente 3.

Construcción de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. La planta es de tipo anaerobia con una clase de tratamiento biológico, contempla un área que albergará un módulo proyectado a quince años y el espacio para otro módulo para la ampliación en el año 2045, para la población proyectada, adicional del área para la construcción del laboratorio de la planta de tratamiento y el área para las instalaciones de Incinerador de Desechos Sólidos.

Construcción de Edificaciones e Infraestructuras para las Oficinas de Operación y Control de la PTAR, Laboratorio de Calidad de Aguas Residuales, Almacenes, Vestidores y Garita. Con el propósito de mantener al personal de servicio técnico en jornadas de 24/7, se construirán las instalaciones adecuadas que reúna todas las características para la operación, control y mantenimiento de la principal Planta de Tratamiento de David, con las bases de la Seguridad Industrial y el manejo amigable al entorno ambiental; incluyendo instalaciones para la generación sostenible de energía a través de recursos renovables y el desarrollo de paisajismo dentro de las instalaciones.

✓ Componente 4.

Construcción del Edificio Sede de IDAAN Chiriquí, a ubicar en terrenos de propiedad del Instituto De Acueductos y Alcantarillado Nacionales (IDAAN) en el antiguo edificio en el casco antiguo de la ciudad de David.

✓ Componente 5.

Estabilización de la Canalización de Zanja Madre, solamente en las zonas afectadas por el proyecto, con el propósito de proteger tanto parte de las líneas colectoras existentes como las nuevas que se instalen.

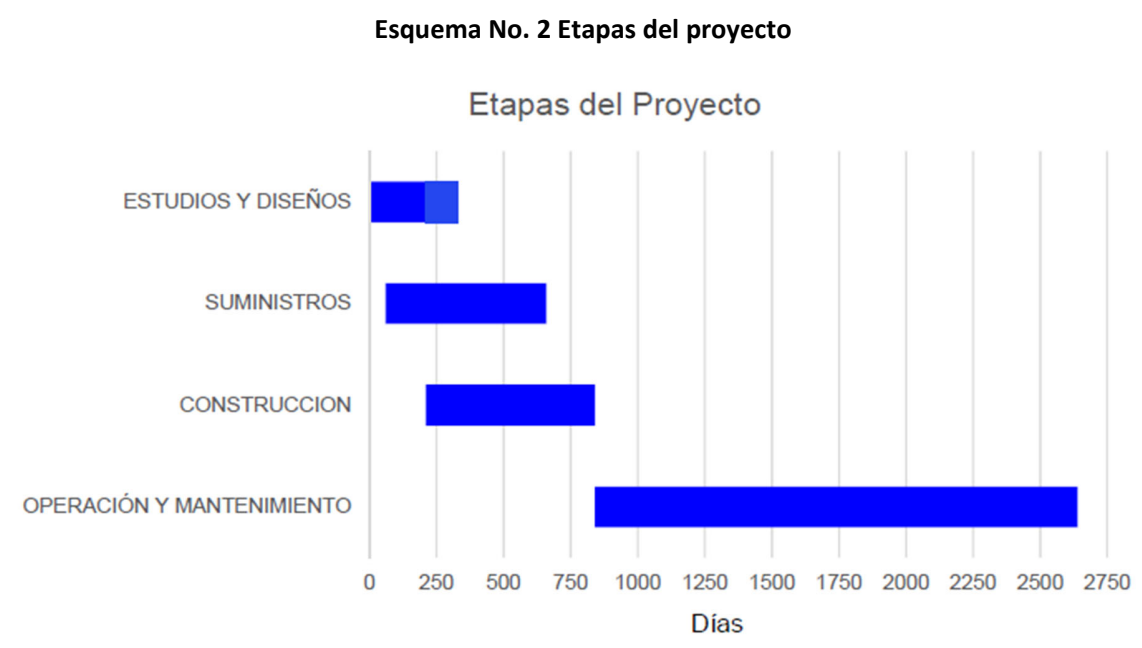
4.1.3 Fase de Operación y Mantenimiento

✓ Componente 6.

Operación y Mantenimiento del Sistema, que incluye la operación y mantenimiento por mil ochocientos (1.800) días calendario de las Instalaciones ejecutadas y construidas por el CONSORCIO AGUA DE DAVID, con la coordinación de la capacitación y entrenamientos con participación activa, simultánea durante el período establecido de los operadores y personal de servicio técnico, permitiendo asimilar los conocimientos prácticos y analíticos de cada elemento diseñado y operado, mediante la implementación de Manuales Operativos de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, así como de cada una de las infraestructuras o elementos para estos sistemas de alcantarillado y el plan de control de calidad de las aguas tratadas.

4.2 PLAN MAESTRO

El proyecto cuenta con un Plan Maestro que permite conocer el cronograma del mismo, la duración de las macro actividades, cumpliendo el lapso solicitado por el IDAAN de 2.640 días calendario, se muestran a continuación



Fuente:(SUEZ, 2017)

4.3 GRUPOS DE OBRAS 2

El Grupo de Obras 2, está compuesto por el proyecto de construcción de la Colectora Oeste, derivado en diferentes componentes de acuerdo con las Etapas que se describen a continuación:

4.3.1 ETAPA DE ESTUDIOS Y DISEÑO

✓ Componente 1.

Estudios y Diseños de la Colectora Principal Oeste, Red de Alcantarillado Sanitario, Estación de Bombeo de Aguas Residuales Principal Oeste, Galera de Oficinas de Operación de Alcantarillados, Mantenimiento, Talleres y Laboratorios de las Lagunas de Oxidación, Canalización de zanja madre, Cerca Perimetral, Vías de Acceso, Extensiones de Línea Trifásica, ampliación de acometida eléctrica y demás obras o infraestructuras relacionadas de la Zona Oeste de David, San Pablo Viejo y San Carlos. De acuerdo, al plan de administración del proyecto, que permita la ejecución, control y seguimiento, identificación y gestión de riesgos y cierre de fases del proyecto.

4.3.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

✓ Componente 2.

Construcción de la Red de Alcantarillado Sanitario y Estaciones de Bombeos, de la Zona Oeste de David, parte de San Pablo Viejo y parte de San Carlos (San Carlitos).

✓ Componente 3.

Construcción de Estación Principal de Bombeo de Aguas Residuales Oeste. Que albergue una edificación proyectada a recibir la capacidad de caudal de aguas residuales a un horizonte del 2045, de la población de los sectores establecidos en el alcance del Colector Oeste y el área para la construcción de las oficinas de operación, mantenimiento y vestidores de los operadores.

✓ Componente 4.

Construcción de Edificaciones e Infraestructuras para las Oficinas de Operación y Control de la EBAR, Vestidores y Garita. Con el propósito de mantener al personal de servicio técnico operando el sistema, se requerirá de instalaciones adecuadas que reúna todas las características para la operación, control y mantenimiento de la principal Estación de Bombeo de David, con las bases de la Seguridad Industrial y el manejo amigable al entorno ambiental; y el desarrollo de nuevas tecnologías de generación sostenible de energía a través de recursos renovables y el desarrollo de paisajismo dentro de las instalaciones.

✓ Componente 5.

Construcción de Canalización de Zanja Madre. con el propósito de proteger tanto parte de las líneas colectoras existentes y drenar los sistemas pluviales. Con las mejoras de las áreas verdes, revegetación, arborización y parques naturales alrededor de estas nuevas infraestructuras (colectoras y canales) para su conservación natural.

4.3.3 ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

✓ Componente 6.

Operación y Mantenimiento del Sistema se trata de la operación de dos (2) años de las Instalaciones ejecutadas y construidas, con la coordinación de la capacitación y entrenamientos con participación activa, simultánea durante el periodo establecido de los operadores y personal de servicio técnico, permitiendo asimilar los conocimientos prácticos y analíticos de cada elemento diseñado y operado, mediante la implementación de Manuales Operativos de las Estaciones de Bombeo, así como de cada una de las infraestructuras o elementos para estos sistemas de alcantarillado y el plan de control de calidad de las aguas.

5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Uno de los entregables del megaproyecto es La obra "AMPLIACIÓN DEL SISTEMAS DE SANEAMIENTO, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE DAVID Y ALREDEDORES, PROVINCIA DE CHIRIQUÍ, PANAMÁ" contemplando el diseño, construcción, operación y mantenimiento de la

planta de tratamiento de aguas residuales desarrollada por el Grupo N°1, la cual se describe a continuación.

5.1 UBICACIÓN DE LA PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se construye en un terreno de 15 ha, el cual contempla las obras proyectadas a quince años, que corresponden a la fase I y son construidas por la firma SUEZ, el módulo II, que corresponde a su ampliación es un proyecto a futuro que permitirá realizar el incinerador de desechos sólidos.

5.2 POBLACION IMPACTADA

Se realizó un Diagnóstico de Población y Aporte de Aguas Residuales por Corregimiento y Lugar Poblado ya que el factor demográfico reviste gran importancia para el diseño y la planificación estratégica del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales. Este estudio se realizó, analizando el punto de vista del crecimiento vegetativo, para tal objetivo tuvieron en cuenta los informes estadísticos de la Contraloría General de la Nación, estudios locales de Epidemiología, censos agropecuarios, y otros trabajos realizados en instituciones como MINSA, MIDES, MIDA y Universidades. En base a esta información se determinó el tipo de crecimiento para cada corregimiento y lugar poblado, su tasa de crecimiento y su proyección poblacional a un horizonte de 30 años a partir del año 2018. De igual forma el punto de vista del Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito de David de acuerdo al Esquema de localización de sistema de saneamiento básico primario (tanques sépticos) por grupos de obras que se plantearon. Desde este marco se investigó la dinámica de la población en función de desplazamiento de polos de desarrollo y sobre la aptitud de suelo (Zonificación); estableciendo ejes de desarrollo, y con esta información se determinó el indicador de densidad por zonas. La proyección de la población futura se basó entonces en la dinámica del uso del suelo.

Para determinar las proyecciones de población y demanda futura, se utilizó como base la población del Censo del Lugar Poblado de los años 2000 y 2010 realizado por la Contraloría General de la República de Panamá y para realizar el análisis y tener un criterio sobre el crecimiento y la expansión que se está dando en el área de estudio y así poder establecer el índice de crecimiento, se analizaron las poblaciones de la provincia, distrito, corregimiento y lugar poblado.

En las tablas siguientes se muestran las poblaciones y viviendas de los corregimientos dentro del proyecto, obtenidas en los Censos de los años 1990, 2000 y 2010 por la Contraloría General de la República de Panamá.

Tabla No. 5 Población por Corregimiento Censo 1990

PROVINCIA	DISTRITO	CORREGIMIENTO	VIVIENDA 1990	POBLACIÓN 1990
CHIRIQUI			91.830	370.227
	DAVID		27.003	102.678
		DAVID	17.391	65.763
		LAS LOMAS	2.660	10.615
		PEDREGAL	3.333	12.731
		SAN PABLO VIEJO	756	2.724
		SAN CARLOS	648	2.543
		SAN PABLO NUEVO	301	1.192

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo -Panama, 1990)

Tabla No. 6 Población por Corregimiento Censo 2000

PROVINCIA	DISTRITO	CORREGIMIENTO	VIVIENDA 2000	POBLACIÓN 2000
CHIRIQUI			102.313	368.790
	DAVID		30.230	124.280
		DAVID	20.836	77.734
		LAS LOMAS	3.625	13.683
		PEDREGAL	3.992	15.220
		SAN PABLO VIEJO	1.283	4.768
		SAN CARLOS	894	3.181
		SAN PABLO NUEVO	415	1.642

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama, 2000)

Tabla No. 7 Población por Corregimiento Censo 2010

PROVINCIA	DISTRITO	CORREGIMIENTO	VIVIENDA 2010	POBLACIÓN 2010
CHIRIQUI			134.472	416.873
	DAVID		45.412	144.858
		DAVID	26.143	82.907
		LAS LOMAS	5.631	18.769
		PEDREGAL	5.286	17.516
		SAN PABLO VIEJO	3.158	10.088
		SAN CARLOS	1.516	4.487
		SAN PABLO NUEVO	562	1.752

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama, 2010)

Como puede apreciar en estas tablas, el corregimiento de David presentó un crecimiento del 1,69% entre los años 1990 y 2000. Este crecimiento disminuyó en la siguiente década entre los años 2000 y 2010 pasando a ser del 0.65%. La población de todo el corregimiento según el censo del 2010 es de 82.907 personas.

En el caso del corregimiento de Las Lomas, este ha ido creciendo en las dos últimas décadas. Entre los años 1990 y 2000 el crecimiento fue de un 2,5% aumentando un 3,21% en la siguiente década. La población del corregimiento de las Lomas según el último censo del 2010 es de 18.769 personas.

El corregimiento de Pedregal a seguido un desarrollo similar al de David presentando unos índices de crecimiento de 1,80% y 1,41% en las últimas dos décadas. Este hecho que se da tanto para David y Pedregal, se produce por la limitación de superficie que se tiene ya que quedan encajados entre los ríos.

Tanto para el corregimiento de San Carlos como el de San Pablo Viejo, estos son los que mayor crecimiento están teniendo. San Carlos tuvo un índice de crecimiento del 2,26% entre los años 1990 y 2000 aumentando este índice hasta un 3,5% en los años 2000 y 2010. La población actual del corregimiento de San Carlos es de 4.487 personas.

En el caso del corregimiento de San Pablo Viejo este ha sido el corregimiento que mayor crecimiento ha experimentado. Los índices de crecimiento que se han dado han sido de 5,76% y 7,78% contando con una población de 10.088 personas en el último censo del 2010.

El corregimiento de San Pablo Nuevo ha tenido unos índices de crecimiento del 3,25% entre los años 1990 y 2000, disminuyendo este índice disminuyo al 0,65% en la última década. La población de este corregimiento según el último censo de 2010 es de 1.752 personas.

Por último, hay que mencionar que la población total del distrito de David es superior a la de los corregimientos que se han mostrado en las tablas anteriores ya que este proyecto no abarca a todo el distrito de David y corregimientos como Chiriquí, Cochea, Guaca o Bijagual, no están incluidos dentro del área de estudio. Esto mismo sucede a nivel de corregimiento donde en apartados posteriores se detallará la población a considerar si es que no se abarca todo el corregimiento por no estar incluido en el área de estudio y no coincide con la población de los barrios y lugares poblados.

INDICES DE CRECIMIENTO DE LA POBLACION DEL PROYECTO

Utilizando los datos de los tres últimos censos realizados por la Contraloría General de la República de Panamá, se determinó los índices de crecimiento por Lugar Poblado, Corregimiento, Distrito y Provincia. Además de estas, se calculó el índice de crecimiento del proyecto siendo este, el promedio de los índices de crecimiento de los lugares poblados que integran el área de estudio. Se pudo observar que en los diferentes censos se fueron eliminando algunos lugares poblados e incorporando su población a otro con la denominación preponderante. De este modo se tuvo especial cuidado de interpretar las zonas que incluían a cada lugar poblado en cada censo.

Estos índices se calcularon usando la misma metodología empleada por la Contraloría General de la República de Panamá. Con las poblaciones recopiladas en los años censales 1990, 2000 y 2010 se calcularon las tasas anuales medias de crecimiento. Si "Po" y "Pt" son las poblaciones de los años

censales, "t" el tiempo en años del período intercensal, la tasa de crecimiento "r" se determina por la siguiente fórmula:

$$r = \left(\frac{Pt}{Po}\right)^{1/y} - 1$$

A continuación, se muestran los índices obtenidos.

Tabla No. 8 Índices de Crecimiento 1990-2000

Provincia	Distrito	Corregimiento	Lugares Poblados	Tasa Crecimiento 1990-2000
Chiriquí				-0,04%
	David			1,93%
		David		1,69%
			DAVID	1,69%
			PORTACHUELO	0,99%
			LA YEGUADA	---
			MANGOTE	---
			VILLA NATALIA	---
		Las Lomas		2,57%
			QUITEÑO	1,50%
			LAS LOMAS O LLANO DEL MEDIO	13,36%
			MATA DE LIMON	3,45%
			MATA DE NANCE	1,57%
			RESIDENCIAL VALLE VERDE	---
			VILLA VIDELI	---
		Pedregal		1,80%
			PEDREGAL	23,70%
		San Pablo Viejo		5,76%
			AGUACATAL	3,98%
			MONTILLA	2,21%
			SAN JUAN DEL TEJAL	1,24%
			SAN PABLO VIEJO ABAJO	6,49%
			SAN PABLO VIEJO ARRIBA	2,06%
			BARRIADA SANTO DOMINGO DE GUZMAN	---
			COQUITO ABAJO	---
			LA COLA DE SAN PABLO VIEJO	---
			RESIDENCIAL VILLA ANA	---
			RESIDENCIAL VISTA VERDE	---
			URBANIZACION SANTA MONICA	---
		San Carlos		2,26%

			NUEVO SAN CARLITOS	1,83%
			PASO PIÑAS	12,22%
			CAMPO ALEGRE	---
		San Pablo Nuevo		3,25%
			SAN PABLO NUEVO ABAJO	3,36%

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panamá, 2000)

Tabla No. 9 Índices de Crecimiento 2000-2010

Provincia	Distrito	Corregimiento	Lugares Poblados	Tasa Crecimiento 2000-2010
Chiriquí				1,23%
	David			1,54%
		David		0,65%
			DAVID	0,62%
			PORTACHUELO	1,01%
			LA YEGUADA	---
			MANGOTE	16,98%
			VILLA NATALIA	---
		Las Lomas		3,21%
			QUITEÑO	2,27%
			LAS LOMAS O LLANO DEL MEDIO	3,41%
			MATA DE LIMON	4,85%
			MATA DE NANCE	1,29%
			RESIDENCIAL VALLE VERDE	---
			VILLA VIDELI	---
		Pedregal		1,41%
			PEDREGAL	1,43%
		San Pablo Viejo		7,78%
			AGUACATAL	3,51%
			MONTILLA	2,52%
			SAN JUAN DEL TEJAL	3,44%
			SAN PABLO VIEJO ABAJO	15,80%
			SAN PABLO VIEJO ARRIBA	3,61%
			BARRIADA SANTO DOMINGO DE GUZMAN	-2,16%
			COQUITO ABAJO	---
			LA COLA DE SAN PABLO VIEJO	---
			RESIDENCIAL VILLA ANA	---
			RESIDENCIAL VISTA VERDE	---
			URBANIZACION SANTA MONICA	---
		San Carlos		3,50%

			NUEVO SAN CARLITOS	13,15%
			PASO PIÑAS	-5,76%
			CAMPO ALEGRE	1,29%
		San Pablo Nuevo		0,65%
			SAN PABLO NUEVO ABAJO	-0,14%

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama, 2010)

Como puede apreciarse en las tablas anteriores, existe una gran variabilidad en los índices obtenidos para cada lugar poblado. Existen lugares que se han ido construyendo y lógicamente presentan unos índices altos pero su población es pequeña no representando un índice representativo para el proyecto.

Todo el distrito de David presento su mayor crecida entre los años 1990 y 2000. El índice de crecimiento fue de 1,93% disminuyendo a un 1,54% en la siguiente década.

Si hacemos el análisis por corregimiento, David tuvo un índice de crecimiento de 1,69% entre los años 1990 y 2000 siendo el de la última década de 0,65%. Este mismo hecho se produce en Pedregal donde los índices presentados son de 1,80% y 1,41%. Esta situación resulta lógica por la limitante de espacio que se tiene para continuar desarrollándose.

En el caso de las Lomas estos índices que se han presentado han ido aumentando de un 2,57% a un 3,21% en el último periodo interesal.

Los mayores crecimientos que se han dado han sido en San Pablo Viejo y San Carlos. Los índices que se han obtenido han sido de 5,76% y 7,78% para San Pablo y de 2,26 y 3,50% para San Carlos.

En el caso de San Pablo Nuevo, este presento un crecimiento de 3,25% entre los años 1990 y 2000, disminuyendo hasta un 0,65% entre los años 2000 y 2010.

Como se ha comentado anteriormente, los índices obtenidos por lugar poblado no corresponden o representan el crecimiento que se está dando. Existen lugares que han tenido un gran crecimiento pero que este no puede continuar dándose por no tener espacio para seguir desarrollándose.

5.2.1 Resumen Índices de Crecimiento Adoptados

A continuación, se presenta una tabla resumen con los índices de crecimiento que se estudiaron y los adoptados para establecer los índices de crecimiento de la población obtenidos para este estudio.

Tabla No. 10 Índices de Crecimiento

NOMBRE	DAVID	LAS LOMAS	PEDREGAL	SAN PABLO	SAN CARLOS	SAN PABLO NUEVO
CRECIMIENTO CONTRALORIA	0,80%	1,50%	1,40%	2,80%	1,65%	0,65%
CRECIMIENTO PLAN GENERAL DE ORDENACION	0,80%	2,50%	1,60%			
CRECIMIENTO ADOPTADO	0,80%	2,50%	1,60%	2,80%	1,65%	0,65%

Fuente: (SUEZ, 2017)

5.2.2 PROYECCION DE POBLACIÓN HASTA EL AÑO 2048

Los términos de referencia establecen que el horizonte de planificación deberá ser hasta el año 2048. Para obtener la población futura, la tasa de crecimiento del proyecto obtenida en apartados anteriores fue aplicada a las cifras de población del censo 2010 para las localidades del área de estudio. En la tabla siguiente se muestran las proyecciones de población obtenidas para cada localidad para los años 2010, 2018, 2033 y 2048.

Tabla No. 11 Proyección de Población Total Año 2048

Año	Población (hab)						
	David	Las Lomas	Pedregal	San Pablo Viejo	San Carlos	San Pablo Nuevo	Total
2010	82.907	17.740	17.427	8.681	1.820	435	129.010
2018	88.364	21.614	19.787	10.827	2.075	458	143.125
2033	99.583	31.304	25.106	16.383	2.652	505	175.533
2048	112.225	45.338	31.855	24.791	3.390	556	218.155

Fuente: (SUEZ, 2017)

Como puede apreciarse en la tabla anterior, se estaría considerando una población inicial del proyecto de 143.125 personas al año 2018. Aplicando los índices de crecimiento por corregimiento descritos en el apartado anterior, la población futura de los sectores este y oeste, y las zonas futuras, sería de 218.155 personas.

Si tenemos en cuenta las zonas este y oeste sin contar con las futuras, las poblaciones que se tendrían para estos dos sectores son las que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla No. 12 Proyección de Población Sector Este y Oeste Año 2048

Año	Población (hab)				
	David	Pedregal	San Pablo Viejo	San Carlos	Total
2010	82,907	17,427	4,528	1,820	106,682
2018	88,364	19,787	5,647	2,075	115,873
2033	99,583	25,106	8,546	2,652	135,887
2048	112,225	31,855	12,931	3,390	160,401

Fuente: (SUEZ, 2017)

Para el sector este y oeste, la población al año 2018 sería de 115.873 personas. Aplicando los índices de crecimiento adoptados para el proyecto, la población de estos sectores al año 2048 sería de 160.402 personas.

5.2.3 CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LA PTAR DE LA CIUDAD DE DAVID

Para el análisis hidráulico de las líneas sanitarias de la PTAR, el caudal de diseño (Qd), este, es la contribución de caudal de aguas servidas (QAS), que representa el 80% del consumo per cápita ($q = 100 \text{ gpd}$), amplificado por un factor de máxima (F) que da como resultado un caudal máximo (QM). Este último se suma a la aportación del caudal de infiltración Total (QIT).

De este modo:

$$QAS = 80\% * q$$

$$Qd = QAS * \text{No. de habitantes}$$

El Factor de Máxima (F) será el siguiente:

$$F = 6.46 * (\text{hab.})^{-0.152}$$

Donde

hab. = número de habitantes

F nunca deberá ser mayor de 3.00 ni menor de 1.80.

$$QM = Qd * F$$

$$QT = QM + Qi$$

Donde $Qi = qi * \text{distancia}$ siendo $qi = \text{caudal de infiltración}$

En la siguiente tabla se presenta la población incluida dentro de los análisis. De allí se establece para el horizonte de diseño, el caudal a modelar en las redes igual al del caudal de diseño (Qd), el cual será la contribución de caudal de aguas servidas (QAS), que representa el 80% del consumo per cápita ($q = 100 \text{ gpd}$), amplificado por un factor de máxima (F) que da como resultado un caudal máximo (QM). A continuación, se muestran los caudales de diseño obtenidos para un factor de máxima de 1.80.

Tabla No. 13 Caudales Totales Alcantarillado 2048

Alcantarillado Sanitario									
Año	Caudal Medio Diario (QME)			Caudal Máximo Horario (QMas)			Caudal Total = QMas + Infiltración		
	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)
2010	10.320.766,18	7.167,20	452,18	18.577.379,12	12.900,96	813,92	19.718.602,38	13.693,47	863,92
2018	11.449.959,61	7.951,36	501,65	20.609.927,29	14.312,45	902,98	21.751.150,56	15.104,97	952,98
2033	14.042.591,53	9.751,80	615,24	25.276.664,76	17.553,24	1.107,44	26.417.888,03	18.345,76	1.157,44
2048	17.452.429,06	12.119,74	764,64	31.414.372,30	21.815,54	1.376,35	32.555.595,57	22.608,05	1.426,35

Fuente: (SUEZ, 2017)

Para el caso de los sectores Este y Oeste sin contar las zonas futuras, los caudales de alcantarillado a emplear en el diseño son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No. 14 Caudales Alcantarillado Sector Este y Oeste 2048 (Incluye las Área a Construir)

Alcantarillado Sanitario									
Año	Caudal Medio Diario (Qmdas)			Caudal Máximo Horario (QMas)			Caudal Total = QMas + Infiltración		
	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)
2010	8.534.560,00	5.926,78	373,92	15.362.208,00	10.668,20	673,06	16.503.431,27	11.460,72	723,06
2018	9.269.814,95	6.437,37	406,14	16.685.666,92	11.587,27	731,04	17.826.890,18	12.379,78	781,04
2033	10.870.890,26	7.549,23	476,28	19.567.602,46	13.588,61	857,31	20.708.825,73	14.381,13	907,31
2048	12.832.152,45	8.911,22	562,21	23.097.874,41	16.040,19	1.011,98	24.239.097,68	16.832,71	1.061,98

Fuente: (SUEZ, 2017)

Las normas de diseño para los sistemas de tratamiento de aguas residuales de IDAAN especifican lo siguiente sobre el caudal de diseño para las Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR): “El caudal de diseño para la PTAR, será el 80% del caudal máximo horario, más los caudales de infiltración y aportes institucionales, comerciales e industriales que se definan en el área”. Los siguientes cuadros desglosan estos caudales por año:

Tabla No. 15 Caudales Totales PTAR Año 2048 (incluye Sector Este y Oeste y los futuros)

Año	Caudal de la planta		
	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)
2018	17.629.165,10	12.242,48	772,38
2033	21.362.555,07	14.835,11	935,95
2048	26.272.721,11	18.244,95	1.151,08

Fuente: (SUEZ, 2017)

Tabla No. 16 Caudales PTAR Sectores Este y Oeste Año 2048

Año	Caudal de la planta		
	(gal/día)	(gal/min)	(l/s)
2018	14.489.756,80	10.062,33	634,83
2033	16.795.305,23	11.663,41	735,85
2048	19.619.522,79	13.624,67	859,58

Fuente: (SUEZ, 2017)

Como puede apreciarse en la tabla anterior, el caudal de diseño para el año 2033 de la PTAR es de 735,85 l/s por lo que se adopta 750 l/s para el diseño.

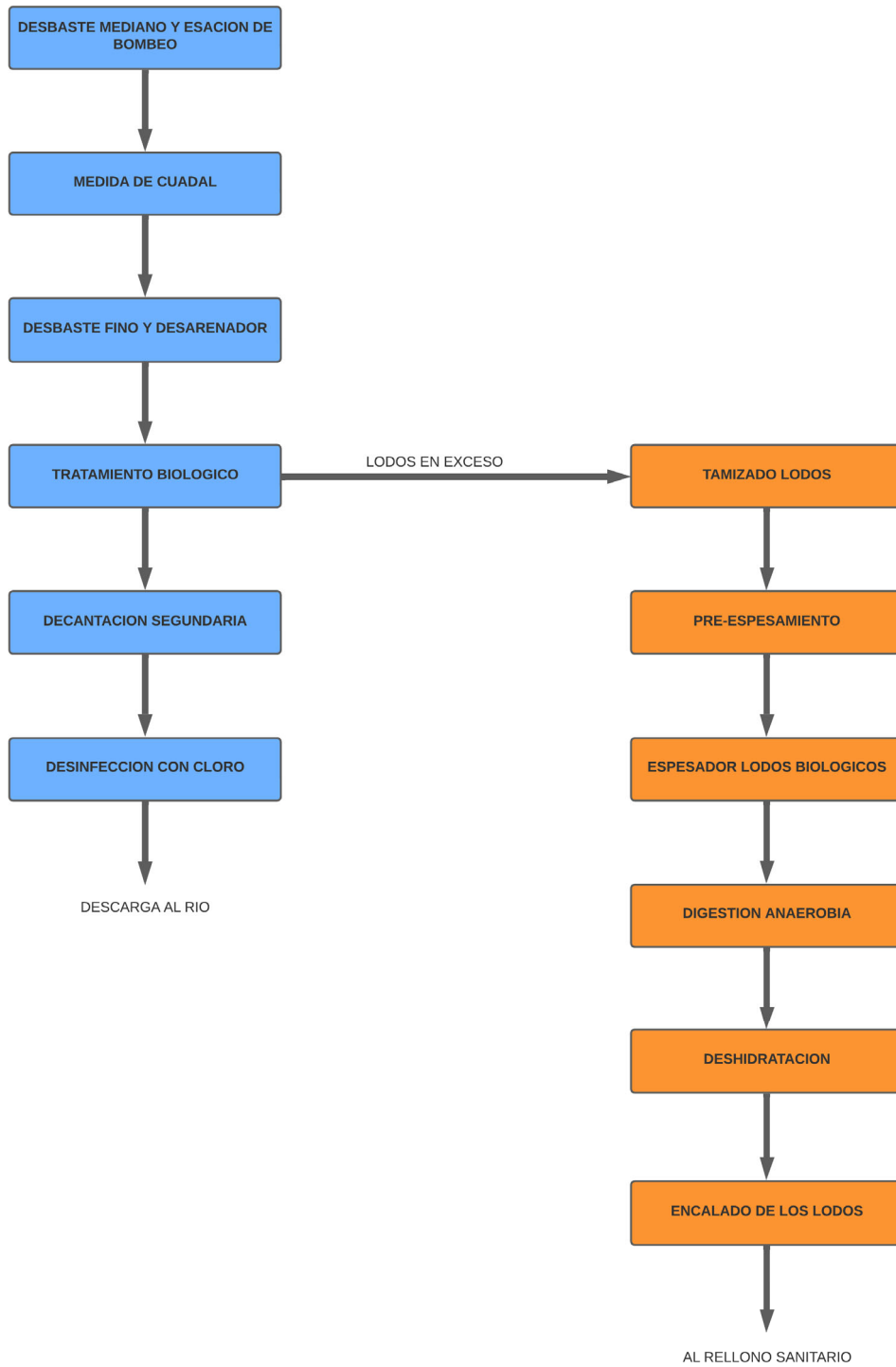
El caudal máximo horario para el año 2033 es de 907,31 l/s incluyendo la infiltración como se puede apreciar en la Tabla No. 13. Este caudal corresponde con las áreas a construir.

El caudal de diseño de la planta correspondiente a los sectores este y oeste que se van a construir más los sectores futuros se muestran en la Tabla No.14 serían de 935 l/s al año 2033 y 1.151 l/s al año 2048.

5.3 LÍNEA DE TRATAMIENTO

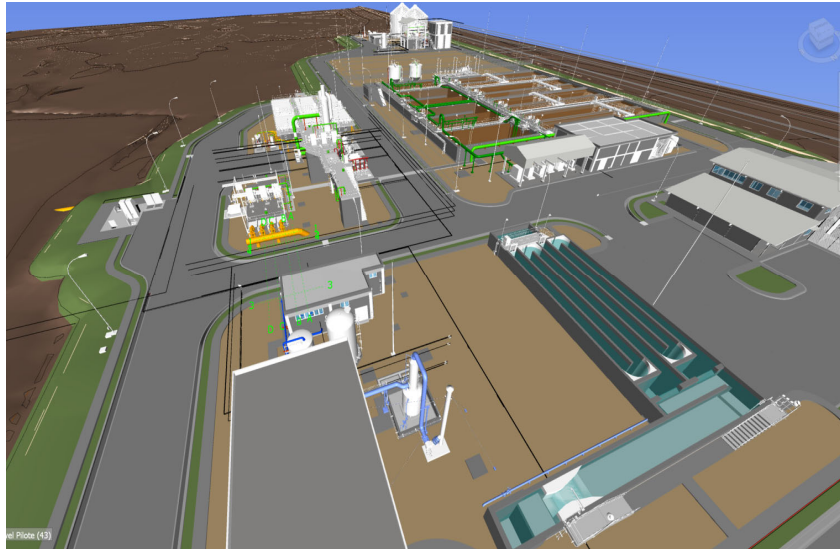
La planta de tratamiento de aguas residuales integra todas las etapas requeridas por la normativa de diseño: Desbaste mediano y estación de bombeo, pretratamiento, tratamiento biológico, filtración, desinfección y línea de tratamiento de lodos. A continuación, se presentan las etapas principales de la línea de tratamiento y el diagrama de flujo del proceso correspondiente.

Esquema No. 3 Diagrama de Flujo del proceso



Fuente: (SUEZ, 2017)

Esquema No. 4 Maqueta de la PTAR

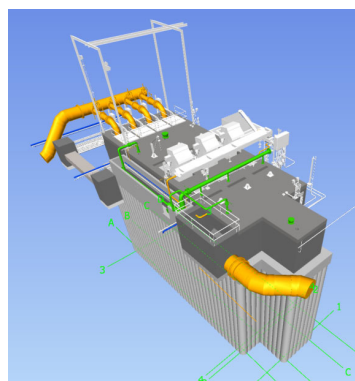


Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.1 DESBASTE MEDIANO Y ESTACIÓN DE BOMBEO PTAR

El diseño de la planta estima la presencia de sólidos de gran dimensión o de una gran cantidad de arenas en el agua bruta, por esta razón, en el inicio del proceso de instalación, existe un mecanismo de retención de estos grandes sólidos; los cuales son dirigidos al relleno sanitario autorizado; este continente una reja fija, llamada desbaste mediano, que no es más que una serie de perfiles de acero situados en vertical en la entrada a la planta que frenan la entrada de troncos o materiales demasiado grandes.

Esquema No. 5 Desbaste Mediano, Estación de Bombeo PTAR.



Fuente: (SUEZ, 2017)

Luego las aguas residuales, encuentran la estación de bombeo la cual está diseñada para recoger y transportarlas hasta un punto de mayor elevación. Normalmente, una estación de bombeo está diseñada para manipular aguas residuales que se alimentan de tuberías subterráneas por gravedad y se almacenan en un pozo subterráneo. El pozo está equipado con instrumentación eléctrica para detectar el nivel de agua residual. Cuando el nivel de agua residual aumenta a un nivel predeterminado, la estación de bombeo comienza a funcionar: Una bomba comienza a elevar las aguas residuales a través de un sistema de tuberías presurizadas que las descarga en un pozo de registro por gravedad "Canal Parshall". En este caso, el ciclo comienza de nuevo hasta que las aguas residuales llegan a su destino. El caudal máximo horario que puede ingresar a la PTAR, proveniente de la colectora será de 1.200 L/s. Por tanto, el excedente del caudal será derivado al río mediante un rebose en la caja de llegada.

5.3.2 PRETRATAMIENTO

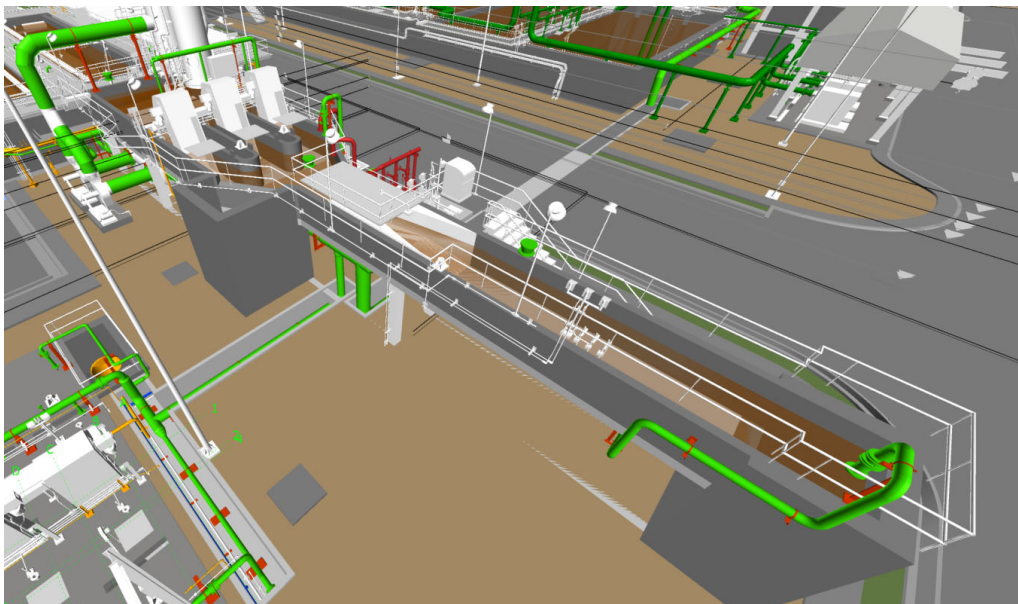
5.3.2.1 MEDIDA DE CAUDAL

El canal Parshall hace una media de caudal al inicio del proceso de tratamiento de agua en la PTAR. La medición se realiza mediante un transmisor de nivel continuo tipo ultrasónico, instalado en la intemperie y montado sobre una placa de concreto por encima del canal. Por otro lado, se implementó unas rejillas de desbaste mediano para no saturar la planta con desechos de tamaños medianos.

REJAS DE DESBASTE

- Caudal medio600 L/s
- Caudal máximo1,200 L/s

Esquema No. 6 Canal Parshall Desbaste Mediano PTAR



Fuente: (SUEZ, 2017)

Tabla No. 17 Dimensionamiento de las rejas de desbaste mediano

Dimensionamiento de las rejas de desbaste mediano		
No. De rejas finas de desbaste		3
No. De rejas en funcionamiento		3 con posibilidad de 2
Velocidad de acercamiento con caudal máximo horario	m/s	0.73
Velocidad de acercamiento con caudal promedio		0.36
Separación de barrotes	mm	40
Superficie necesaria para canal con 2 rejas en funcionamiento	m ²	0.84
Superficie necesaria para canal con 3 rejas en funcionamiento	m ²	0.56

Fuente: (SUEZ, 2017)

Tabla No. 18 características de las rejas finas adoptadas

Características de las rejas finas adoptadas		
No. De rejas finas de desbaste		3
No. De rejas en funcionamiento		3 con posibilidad de 2
Ancho unitario del canal	m	1,4
Altura de agua con 3 rejas en funcionamiento	m	0,4
Altura de agua con 2 rejas en funcionamiento	m	0,6
Separación de barrotes	mm	6
Velocidad de acercamiento con caudal máximo horario	m/s	0,73
Velocidad de acercamiento con caudal promedio	m/s	0,36

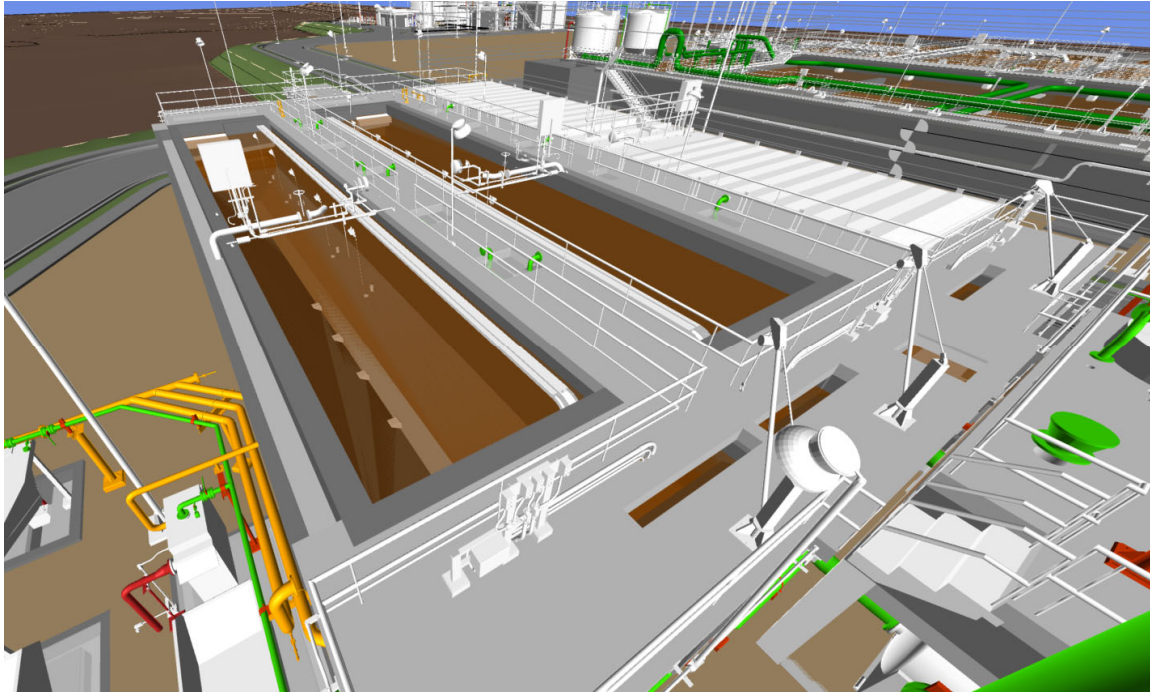
Fuente: (SUEZ, 2017)

El desbaste se ha diseñado para operar con tres rejas, que en conjunto tendrán capacidad para el caudal máximo de 1.200 L/s. así mismo se cumple con el requisito de que el sistema se mantenga en funcionamiento continuo, aun cuando exista una unidad fuera de servicio por mantenimiento, siendo posible que dos rejas medianas y dos rejas finas de desbaste traten en conjunto de caudal máximo de 1.200 L/s.

Los residuos recogidos en el desbaste serán evacuados mediante un transportador que los transferirá a un lavador/compactador, que descargará en un contenedor para su disposición final cada sistema de cribado tendrá su propio transportador, lavador/ compactador y contenedor.

5.3.2.2 DESARENADORES / DESENGRASADORES

Esquema No. 7 Desarenador



Fuente: (SUEZ, 2017)

Después del desbaste fino, el agua fluye a gravedad hacia tres desarenadores-desengrasadores que consisten en canales de concreto equipados con diversos dispositivos que permiten la separación del agua y extracción de los materiales gruesos sedimentables (arenas) y de las grasas y aceites flotantes. Esto con la finalidad de evitar posibles atascamientos en tuberías, bombas y accesorios de conducción subsecuentes. Estos equipos permiten la eliminación de arenas y partículas de densidad superior a $2,65 \text{ kg/L}$ y de granulometría del orden de $150 \times 10^{-6} \text{ m}$ a $250 \times 10^{-6} \text{ m}$ y la eliminación de la mayor parte de las grasas libres y flotantes que pueden ser separadas por flotación, gracias a la inyección de burbujas de aire. Básicamente este proceso consta de dos partes principales el desarenado y la eliminación de las grasas y aceites presentes en el agua cruda.

El desarenado permite remover las materias gruesas contenidas en el agua, las que desempeñan un papel negativo en el resto del tratamiento, ocupando inútilmente espacio de espesamiento de lodos.

Los dispositivos empleados en el desarenador son básicamente una tubería de inyección de aire y un puente viajero que tiene ensamblado un sistema de aspiración de las arenas de tipo "AIR-LIFT" que opera por medio de aire. La inyección de aire comprimido a la base de un tubo vertical cuya succión se encuentra cerca del fondo del equipo, genera un fenómeno de sifón capaz de succionar las arenas mezcladas con agua.

Durante el recorrido del puente a lo largo de toda la longitud del equipo desarenador desengrasador, las arenas succionadas son conducidas hacia una red de tubería para llevar las arenas junto con el

agua succionada en el AIR LIFT al pie de un tornillo clasificador y secador de arena. Todo el funcionamiento antes descrito es completamente automático, controlado por tableros locales (uno por puente) montados en el puente viajero. En caso de presentarse algún problema los tableros enviarán una señal de alarma al tablero central.

Para la eliminación de grasas y aceites, el canal desarenador- desengrasador está equipado con turbinas sumergibles de difusión de aire para favorecer la flotación de las grasas y aceites y permitir el desprendimiento de la materia en suspensión que pueda estar envolviendo a los granos de arena.

Por otra parte, la inyección de aire permitirá la flotación de las grasas y contenidos en el agua, mientras que por medio de una rastra superficial (1 por canal) a la salida de los canales permitirá la evaluación de estos últimos, por rebose, de manera cíclica. Una canaleta los conducirá hacia un separador de grasas

Tabla No. 19 condiciones de operación desarenadores

Condiciones de operación desarenadores			
		N	N-1
Caudal máximo de operación con retornos	m ³ /h	4.416	4.416
Caudal medio de operación con retornos	m ³ /h	2.256	2.256
No. De desarenadores en operación		3	2
Superficie unitaria	m ²	92	92
Velocidad ascensional con caudal máximo	m ³ /m ² /h	16	24
Velocidad ascensional con caudal medio	m ³ /m ² /h	8.2	12
Tiempo de retención con caudal máximo	min	12.9	8.6
Tiempo de retención con caudal medio	min	16.9	24

Fuente: (SUEZ, 2017)

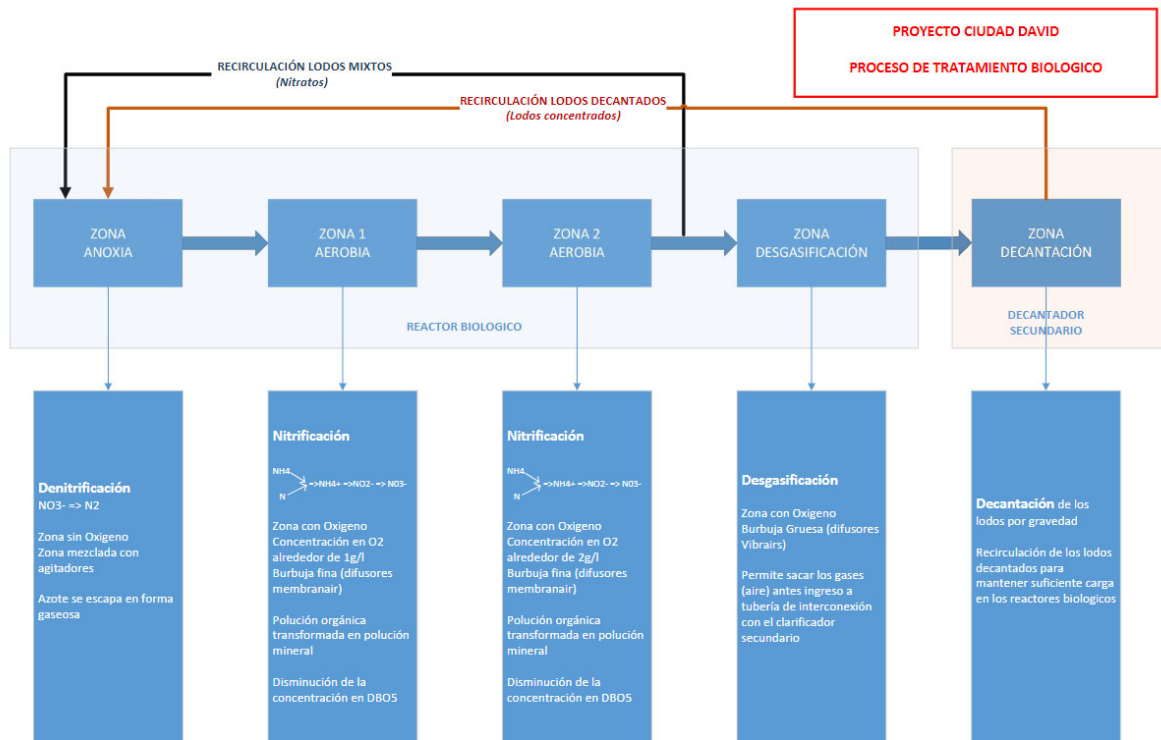
Nota: Los valores anteriormente mencionados corresponden cuando uno de los tres desarenadores sale de operación y permanecen sólo dos en funcionamiento, de esta manera se dará cumplimiento al requerimiento del sistema, que se mantenga un funcionamiento continuo, aun cuando exista una unidad fuera de servicio, siendo posible que dos desarenadores traten en conjunto el caudal máximo instantáneo de 1.200 L/s

5.3.3 TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El agua al salir del desarenador- desengrasador será dirigida por gravedad hacia los tanques de aeración, en donde se llevará a cabo un proceso de lodos activados, en un tanque de anoxia- aeración con recirculación de licor mixto.

El caudal de la necesidad de oxígeno y aire se ha hecho a la temperatura máxima de 29 °C, lo que permite obtener dimensiones de las unidades y procesos en la condición más desfavorable, asegurando de esta manera el diseño.

Esquema No. 8 Proceso de tratamiento Biológico



Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.3.1 REACTOR BIOLÓGICO

Los parámetros para el diseño adoptados para dimensionar el reactor biológico son

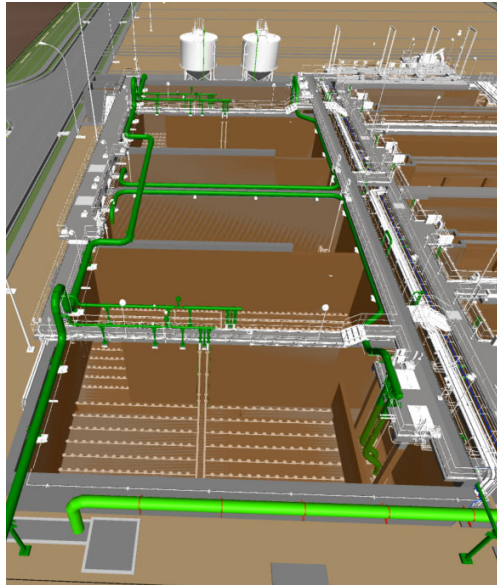
- Caudal de diseño (no incluye los retornos de la PTAR)

Tabla No. 20 Caudal de diseño

Caudales	Caudales de dimensionamiento
Caudal medio diario	600 l/s 51.840 m ³ /d
Caudal máximo diario (caudal de diseño)	750 l/s 2.700 m ³ /d

Fuente: (SUEZ, 2017)

Esquema No. 9 Reactor Biológico



Fuente: (SUEZ, 2017)

Adicionalmente a la carga de entrada de la planta se consideraron en el diseño del tratamiento biológico las cargas adicionales de los retornos internos de los varios procesos de tratamiento de la PTAR.

El proceso biológico propuesto emplea una tecnología de los lodos activados suspendidos en reactores tipo pistón; en el reactor pistón diferentes reacciones biológicas toman lugar en serie en diferentes zonas. La configuración de los cuatro reactores tendrá las siguientes zonas de tratamiento:

1. Zonas de anoxia para desnitrificar las cantidades de nitratos requerida y eliminar un aparte de las DBO
2. Zona de aireación 1 para eliminar la DBO y proveer las condiciones de nitrificación
3. Zona de aireación 2 para seguir el proceso de nitrificación (que presentará una densidad en difusores más baja que la de la zona 1)

Los reactores biológicos dispondrán de una recirculación de licor mixto desde la zona de aireación 2 hasta la zona de anoxia. De la misma manera se dispondrá de recirculación de los lodos activados concentrados en los clarificadores hasta la entrada a los reactores biológicos.

Los volúmenes de los reactores biológicos son calculados de manera que garanticen lo siguiente:

- Volumen suficiente de zona de anoxia para desnitrificar la cantidad de nitratos requerida por la cantidad del agua a tratar
- Volumen suficiente de zona aireada para conseguir el rendimiento requerido en la eliminación de DBO
- Volumen suficiente de zona aireada para que la edad del lodo resultante permita arrancar y mantener el proceso de nitrificación

A continuación, se incluyen los cálculos de dimensionamiento del proceso de la solución adoptada.

DISEÑO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS

Para respetar las condiciones de operación listadas arriba, el volumen biológico global adoptado es de 16.266 m³

Para la flexibilidad de operación de la planta y respetar el principio de modularidad, se tendrá cuatro líneas de reactores biológicos con las posibilidades de trabajar únicamente con tres líneas de esta manera se está cumpliendo con el principio de modularidad y flexibilidad siendo posible que tres líneas de reactor biológico traten en conjunto la totalidad del caudal.

Tabla No. 21 Parámetros del Reactor Biológico

Parámetros	Valor de diseño con 3 líneas en funcionamiento	Valor de diseño con 4 líneas en funcionamiento	unidades
Temperatura mínima de diseño	25	25	°C
Temperatura máxima de diseño	29	29	°C
Carga másica	0,25 – 0,26	0,25	KgDBO/KgSS/d
Carga másica	0,30 – 0,32	0,30 – 0,31	KgDBO/KgSS/d
Concentración de SS en el tanque	2,7 – 2,8	2,1	g/l
Edad del lodo para permitir nitrificación	3,95 – 3,98	3,95 – 4,16	días
Volumen de la zona oxigenada	8.800	11.733	m ³
Volumen de la zona anóxica	3.400	4.533	m ³
Volumen total	12.200	16.266	m ³
Tiempo de retención medio en la zona anóxica	31	41	min
Tasa de recirculación de licor mixto	98%	98%	%
Producción de lodos biológicos	7.980	7.980	kg/d
Caudales de recirculación de lodos biológicos	2.646	2.662	m ³ /h

Fuente: (SUEZ, 2017)

Para la flexibilidad de operación de la planta y respetar el principio de modularidad, se tendrán cuatro líneas de reactor biológico con dos clarificadores secundarios por reactor biológico.

Tabla No. 22 Dimensiones de los Reactores

Dimensiones de los Reactores	
Número de líneas	4
Forma del canal	Rectangular
Superficie unitaria	626 m ²
Altura media de agua	6,5 m
Volumen unitario	4.069 m ³
Volumen total de Reactores Biológicos	16.266 m ³

Fuente: (SUEZ, 2017)

NECESIDADES DE OXÍGENO

Las necesidades de oxígeno se subdividen en tres conceptos

- Necesidades de O₂ para la síntesis, que depende de las DBO eliminada
- Necesidades de O₂ para la nitrificación, que depende de la cantidad de nitrógeno a nitrificar
- Necesidades de O₂ para la respiración, que depende de la masa de materia volátil

AGITACIÓN

Con el fin de garantizar la agitación y la puesta en suspensión de sólidos suspendidos y de limitar los Bypass hidráulicos cada una de las zonas en anoxia, se han previsto 2 unidades en cada zona anoxia (8 unidades totales) estos agitadores serán sumergibles

DE-AIREACIÓN

La de aireación es necesaria para obtener una clarificación de buena calidad permitiendo una buena decantación de los sólidos suspendidos libres de burbujas de aire.

La zona de de-aireación es común a los cuatro (4) reactores biológicos, previendo las turbulencias necesarias a la eliminación del aire disuelto en exceso de licor mixto. Las dos fuentes de turbulencia serán la inyección de burbujas gruesas por difusores de tipo Vibrair y una caída de agua.

PRECIPITACIÓN QUÍMICA DEL EXCEDENTE DE FÓSFORO

Con base al diseño y analítica del agua se considera, que no es necesario el uso de precipitación química del fósforo. En efecto la relación DBO/P en el agua cruda permite, con el consumo propio del proceso biológico, llegar a la garantía de 5 ppm en el agua tratada.

Sin embargo, se prevé un sistema de dosificación de cloruro férrico en la PTAR, lo cual podrá ser utilizado a futuro en caso de que se requiera la precipitación química del fósforo.

5.3.3.2 CLARIFICADORES SECUNDARIOS RECTANGULARES TIPO SLG

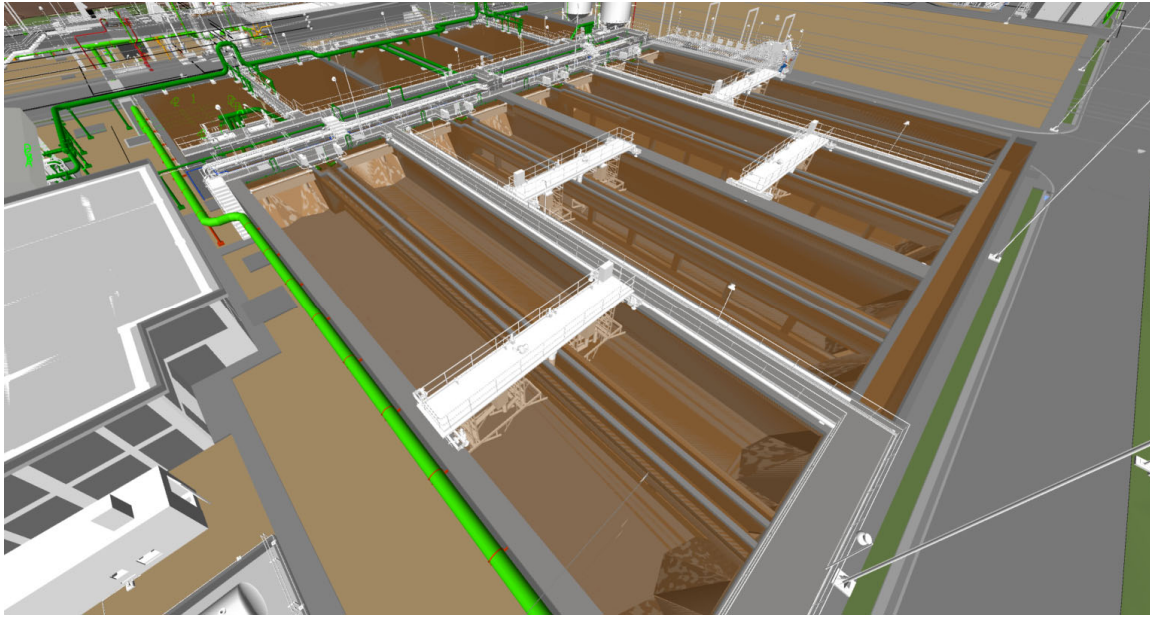
Los parámetros de dimensionamiento para estos equipos son

Tabla No. 23 Caudales de Dimensionamiento

CAUDALES DE DIMENSIONAMIENTO	
Caudal medio (promedio diario anual)	2,200 m ³ /h
Caudal de diseño (máximo diario)	2,700 m ³ /h
Caudal máximo (máximo horario)	4,320 m ³ /h
Carga hidráulica máxima en punto retenido	1.22 m ³ /m ² /h
Carga hidráulica máxima admisible	1.7 m ³ /m ² /h
Superficie de decantación necesaria	3,660 m ²

Fuente: (SUEZ, 2017)

Esquema No. 10 Clarificador Secundario



Fuente: (SUEZ, 2017)

DECANTADORS ADOPTADOS

Los decantadores secundarios previos son decantadores de aspirado longitudinal SLG (succión longitudinal)

Los clarificadores rectangulares SLG logran la sedimentación y la separación de los lodos biológicos del agua tratada. El mecanismo rascador se compondrá de un puente transversal que viajará automáticamente de ida y vuelta mientras succiona por sifón el lodo acumulado en la base del clarificador hasta un canal y será enviado al tanque de colección de lodos.

Los sólidos sedimentados se colectarán en un tanque antes de ser recirculados hasta la entrada de cada reactor biológico. El lodo producido en exceso será extraído de este mismo tanque.

Para la flexibilidad de operación de la planta y respetar el principio de modularidad, se tomaron en cuenta ocho decantadores o clarificadores secundarios, con la posibilidad de trabajar únicamente con siete decantadores. De esta manera se está cumpliendo con el principio de modularidad y flexibilidad siendo siete clarificadores los que traten en conjunto la totalidad del caudal.

En base a los parámetros de diseño se adoptaron los siguientes decantadores

Tabla No. 24 Características de Decantadores

Características	
Números de decantadores	8
Tipos de decantador	Aspiración longitudinal
Ancho útil	10.9 m
Largo	42 m

Superficie unitaria de decantación útil	458 m ²
---	--------------------

Fuente: (SUEZ, 2017)

Condiciones de operación de los decantadores

Tabla No. 25 Condiciones de operación

	7 clarificadores en operación (N-1)	8 clarificadores en operación (N)
Carga hidráulica con caudal medio	0.8 m ³ /m ² /h	0.7 m ³ /m ² /h
Carga hidráulica con caudal máximo	1.3 m ³ /m ² /h	1.2 m ³ /m ² /h
Carga de sólidos con caudal medio	3.24 Kg MS/m ² /h	2.83 Kg MS/m ² /h
Carga de sólidos con caudal máximo	4.68 Kg MS/m ² /h	4.09 Kg MS/m ² /h
Tiempo de retención hidráulica con caudal medio	4.4 horas	5.7 horas
Tiempo de retención hidráulica con caudal máximo	2.2 horas	3.0 horas

Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.4 DESINFECCIÓN

La última etapa en la línea de tratamiento del agua es la desinfección, para la cual se ha considerado el empleo de cloro gas

DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE CONTACTO

Tabla No. 26 Caudal del tanque Contacto de Cloro

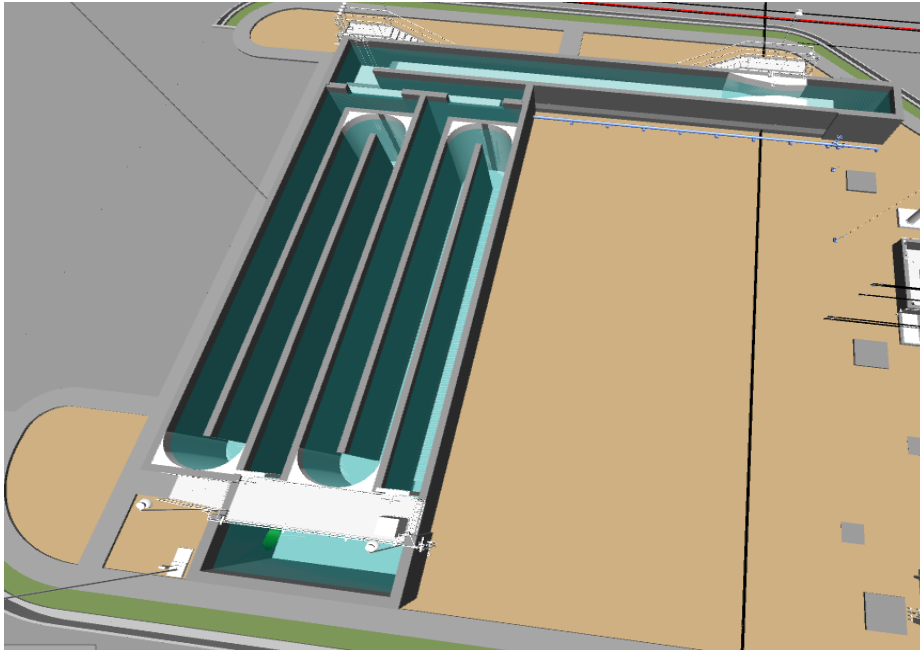
Caudal mínimo de dimensiones	2,160 m ³ /h
Caudal máximo de dimensiones	4,320 m ³ /h
Tiempo de retención a caudal mínimo	34 min
Tiempo de retención a caudal máximo	21 min
Volumen necesario de cámara de contacto (por tiempo de retención a Q más.) con n-1 unidades en operación	1,540 m ³

Fuente: (SUEZ, 2017)

CÁMARA DE CONTACTO ADOPTADA

La cámara de contacto será dividida en cinco celdas de cloración en paralelo con la idea de que al salir una de ellas por aspectos de mantenimiento, limpieza, desazolve, etc. Las restantes cuatro podrán realizar la desinfección con el tiempo requerido de contacto, este diseño permitirá respetar el principio de modularidad y de flexibilidad solicitado, ya que, al estar una celda fuera de servicio las cuatro restantes podrán tratar la totalidad del caudal con tiempos de retención requeridos.

Esquema No. 11 Tanque contacto de cloro



Fuente: (SUEZ, 2017)

La cámara de contacto de cloro está equipada a su entrada con un cámara de mezcla, dos agitadores verticales que favorecen la mezcla entre cloro y el agua a desinfectar

Dimensiones del tanque contacto de Cloro

Tabla No. 27 Dimensiones del Tanque Contacto de Cloro

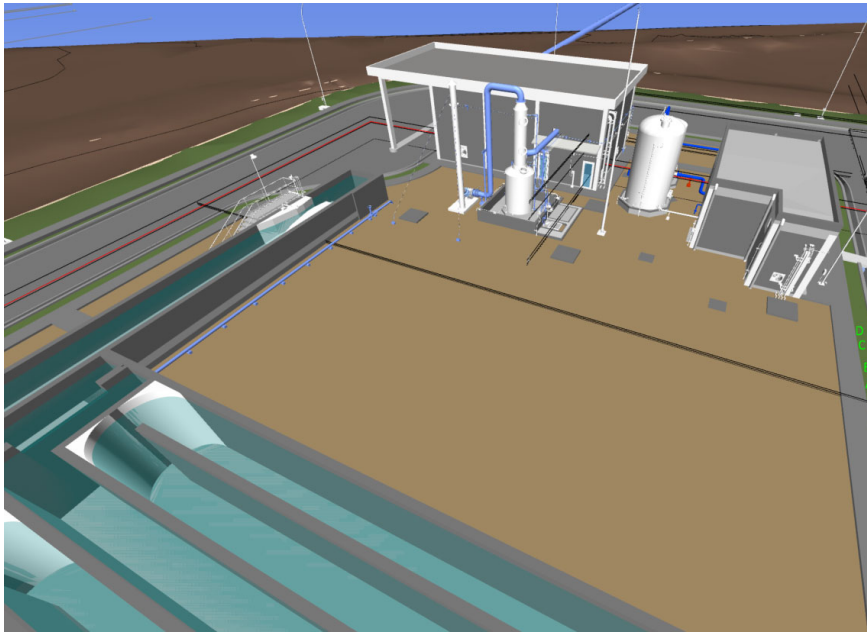
DIMENSIONES DEL TANQUE CONTACTO DE CLORO	
Numero de celdas de contacto	5
Anchura de cada celda	4.785 m
Longitud de cada celda	23 m
Superficie total de celda	111.55 m ²
Altura útil de agua	3.45 m
Volumen útil de cada celda	384.8 m ³
Volumen total con 5 celdas	1,924 m ³
Tiempo de contacto a Q min 5 celdas	53.5 min
Tiempo de contacto a Q Max. 5 celdas	26.7 min
Tiempo de contacto a Q min 4 celdas	42.8 min
Tiempo de contacto a Q Max 4 celdas	21.4 min
Dosis máxima de cloro	5 ppm

Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.4.1 ALMACENAMIENTO Y DOSIFICACIÓN DE CLORO

El almacenamiento y la dosificación de cloro se ubican en un edificio próximo a la cámara de contacto, en dicho edificio se ha separado la parte correspondiente al almacenamiento de los tanques de cloro y la otra parte correspondiente a la dosificación.

Esquema No. 12 Almacenamiento y dosificación de cloro



Fuente: (SUEZ, 2017)

Los consumos de cloro, para las condiciones medias y máximas, se presentan en la tabla siguiente

Tabla No. 28 Consumo de Cloro

CONSUMO DE CLORO	
Caudal medio dosis de Cl	2,160 m ³ /h
Dosis de Cl	2 ppm
Consumo de reactivo	4.3 Kg Cl/h
Caudal máximo	4,320 m ³ /h
Dosis de Cl	5 ppm
Consumo de reactivo	21.6 Kg Cl/h

Fuente: (SUEZ, 2017)

La unidad de dosificación de cloro tendrá los equipos siguientes:

Tabla No. 29 Equipos para la dosificación

EQUIPOS PARA LA DOSIFICACION	
Numero de cloradores instalados	2
Numero de cloradores en servicio	1
Capacidad unitaria de los cloradores	25 kg Cl/h
Capacidad unitaria de tanques seleccionados	908 kg
Número total de tanques seleccionados	8
Capacidad total almacenada	7,264 kg
Autonomía de almacenamiento con consumo medio	70.4 días
Autonomía de almacenamiento con consumo máximo	>16 días
Configuración de tanques adoptados	8 tanques en total
Tanques en espera	6 (6 de 908 kg unitario)
Tanques conectados	4 (2 en operación y 2 conectados en espera de 908 kg unitario)

Fuente: (SUEZ, 2017)

La dosificación del cloro será pilotada con la medición de caudal del agua tratada y, además con un control en línea de medida de cloro residual en el canal común en la salida de los tanques de contacto.

SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE FUGAS DE CLORO

El edificio de almacenamiento y dosificación de cloro ha sido dotado con un sistema de captación y neutralización de posibles fugas de Cloro que se puedan producir. Para su detención se han instalado sensores en la zona de conexión de los tanques de dosificación y clorómetros.

5.3.5 LÍNEA DE TRATAMIENTO DE LODOS

Esquema No. 13 Tratamiento de lodos



Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.5.1 PRE- ESPESAMIENTO DE LODOS BIOLÓGICOS

Los lodos generados por el tratamiento biológico serán extraídos del círculo de la recirculación de los lodos entre los clarificadores secundarios y los tanques de aireación, mediante un par de bombas succionando del tanque de lodos activados.

Bombeo de lodos en exceso al pre-espesamiento

Tabla No. 30 Bombeo al Pre-espesamiento

Bombeo al pre- espesamiento	Carga con 3 reactores biológicos en funcionamiento (N-1)	Carga con 4 reactores biológicos en funcionamiento (N)
Cantidades de lodos en entrada	7,980 kg/d	7,980 kg/d
Concentración lodos biológicos	5.1 g/l	3.9 g/l
N° bombas de extracción de lodos en exceso		(1+1)
Horas de funcionamiento	24 h/d	24 h/d
Caudal de lodos en operación regular	49 m ³ /h	64 m ³ /h

Fuente: (SUEZ, 2017)

Debido a la dificultad de ajustar el caudal de recirculación al caudal de entrada en el tratamiento biológico, existirán variaciones de concentración del lodo extraído. Este fenómeno tiene como

consecuencia la dificultad de controlar el proceso de espesado, y obliga a una sobre dosificación del polímero en la etapa de espesamiento para asegurar su buen rendimiento.

Para evitar esto, en especial por que el costo de polímero es una partida relevante durante la operación de la planta, se ha considerado instalar antes del espesamiento un pre-espesamiento que permita obtener las dos ventajas siguientes

- Estabilización de la concentración (ahorro de polímero)
- Ligero aumento de la concentración

Previo a esta fase de pre-espesamiento, se ha previsto la implementación en el canal de entrada a los pre-espesadores de un sistema de eliminación de fibras lo que reducirá los problemas de operación a niveles de la digestión, que consiste en un tamizado con chapa perforada. Este tamizado es muy importante en la práctica, de acuerdo con la experimentación de SUEZ Degremont, porque asegura el buen funcionamiento de las unidades de digestión.

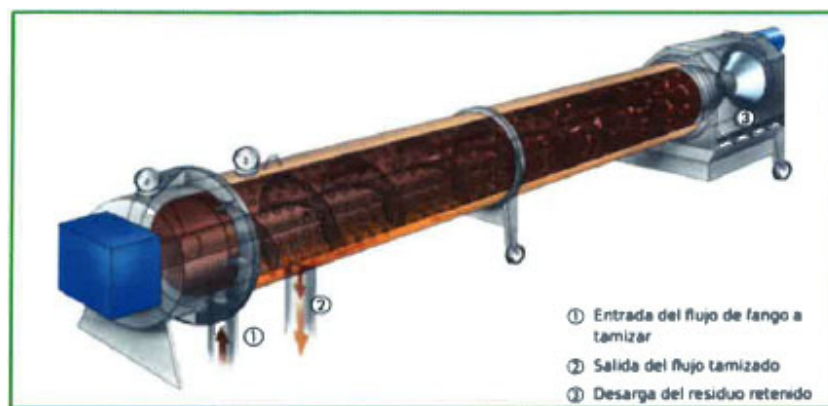
TAMIZADO DE LODOS BIOLÓGICOS

Tabla No. 31 Tamizado de lodos Biológicos

Tamizado de lodos biológicos	
N° de tamiz	1
Chapa perforada	
Canasta cónica	5 mm
Canasta cilíndrica	2 mm
tipo	Prensa de Lodos

Fuente: (SUEZ, 2017)

Esquema No. 14 Pre-espesador



Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.5.2 PRE-ESPESAMIENTO

El pre-espesamiento se compone de dos espesadores estáticos gravitacionales con un tiempo de retención estimado de 35 a 50 min según la carga.

Tabla No. 32 Pre-espesamiento por gravedad

Pre-espesadores gravedad	
Numero de espesadores	2
Carga de solidos	24 kg/m2/d
Tiempo de retención	35 a 50 min

Fuente: (SUEZ, 2017)

Tabla No. 33 Características pre-espesamiento por gravedad

Características Pre-Espesador	Valores de diseño
Tipo de pre-espesadores	Gravedad
N° de pre-espesadores	2
Diámetro unitario	5 m
Superficie unitaria	16.6 m2
Volumen unitario	72.6m3
Cantidades de lodos en entrada	7,980 kg/d
Carga másica	204 kg/m2*d

Fuente: (SUEZ, 2017)

LODO PRE-ESPESADO

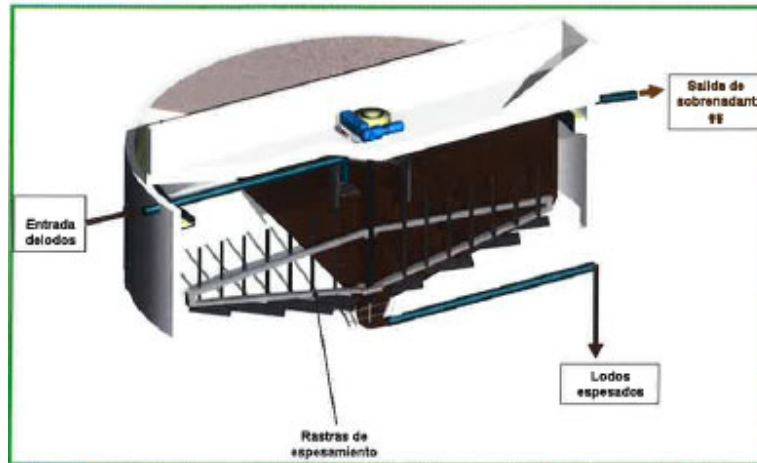
Tabla No. 34 Lodo pre-espesado

Lodo pre-espesado	Valores de diseño
Tasa de captura	97%
Producción de lodo pre-espesados	7,7740 kg MS/d
Concentración de lodos pre-espesados	11 g/l
Volumen de lodos espesados	704 m3/d

Fuente: (SUEZ, 2017)

Para efecto de flexibilidad en la operación y mantenimiento, en caso de parada de uno de los pre-espesadores, el equipo que quede en funcionamiento puede tratar la carga total con inyección de polímero a una dosis de 2.0 Kg/T de MS. Esto asegura la modularidad y redundancia del pre-espesamiento.

Esquema No. 15 Lodo pre-espesado



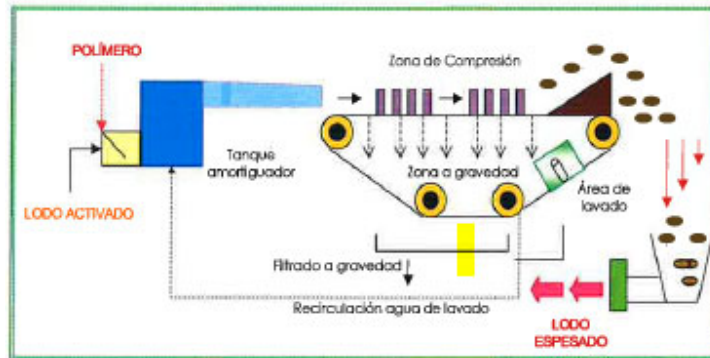
Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.5.3 ESPESAMIENTO DE LODOS

La combinación del pre-espesamiento gravitacional a alta tasa seguido de espesamiento en GBT'S (Gravity Belt Thickener o mesa de espesamiento gravitacional) es un sistema de SUEZ bajo la patente DRAINIS TURBO, lo cual está ya funcionando en varias Plantas de Aguas Residuales en todo el mundo e.g. PTAR Juan Diaz en la Ciudad de Panamá) donde se ha demostrado eficiencia en la reducción de los consumos de polímero y de energía derivado de la gran reducción del volumen de lodo a procesar en el espesamiento mecánico.

Una vez pre-espesados, los 11 g/l son bombeados hacia la etapa de espesamiento por medio de bombas de tornillo, las cuales operarán con variador de velocidad. Cada espesador de banda contará con su propia bomba de alimentación. Antes de ingresar el lodo a los espesadores se dosificará, en línea, una solución de polímero en un mezclador estático, lo cual facilitará la eliminación de agua. Se han seleccionado espesadores de banda para espesar el lodo biológico, estos espesadores (GBT por sus Siglas "Gravity Bet Press" en inglés) cuentan con una tela de malla fina, que elimina por gravedad parte del agua contenida en el lodo. El lodo espesado se almacenará en un tanque, el cual contará con agitadores para mantener el lodo bien mezclado.

Esquema No. 16 Espesamiento de lodos



Fuente: (SUEZ, 2017)

El agua que se filtra a través de la tela será retornada a la entrada de la planta, mediante un sistema de recuperación de las aguas de vaciado de la zona de tratamiento de lodos

Tabla No. 35 DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESADOR

	Valores de diseño
Lodos hacia espesamiento	7,741 kg MS/d
Concentración de salida	50 g/l
Rendimiento GBT	92%
Volumen de lodos espesados	142 m ³ /d
Lodos espesados	7,721 kg MS/d

Fuente: (SUEZ, 2017)

TANQUE Y BOMBEO DE LODOS ESPESADOS

Los lodos espesados, al salir de los GBT, caen por gravedad a un tanque de mezcla de lodos espesados, en el cual se inyectará cloruro férrico para la neutralización de sulfhídrico (H₂S) la alimentación del lodo espesado a los digestores se hará, a través de bombas de tornillo (uno por digestor más 1 de reserva común), con variador de velocidad en el motor y de tuberías de diámetro ≥ 100 mm. En caso excepcional y para dar flexibilidad en la operación y mantenimiento de la planta, existe posibilidad de enviar los lodos espesados directamente al tanque de almacenamiento de lodos digeridos.

Tabla No. 36 Tanque de lodos espesados

Tanque lodos espesados	Carga media (29°C)
Dosis de FeCl ₃	2% MS
Soludos producidos por la inyección de FeCl ₃	142 kg/día
Lodos mezclados	7,121 kg/ MS/d
Volumen del tanque seleccionado	20 m ³
Potencia de agitación recomendada	100W/m ³
Potencia de agitación total	>= 2 kW
Caudal de lodos espesados	142 m ³ /d
Numero de bombas	3 (2+1)
Caudal unitario max. adptado	4 m ³ /h

Fuente: (SUEZ, 2017)

5.3.5.4 DIGESTIÓN ANAEROBIA DE LODOS

Corresponde al proceso más relevante de la línea de tratamiento de lodos, ya que a través de este se consigue la reducción de la materia volátil, con lo cual el lodo se estabiliza y deja de ser un producto altamente putrescible y mal oliente y de paso se genera biogás, que, en este caso, es aprovechado para generar energía y reducir los costos de operación de la planta en el tiempo.

El proceso consiste en la degradación de la materia orgánica (asumida al material volátil MV) por medios biológicos en ausencia de oxígeno, esta degradación tiene como resultado la formación de una mezcla de gas rica en metano llamado biogás que puede ser aprovechado.

Las principales ventajas de la digestión anaerobia, como método de estabilización de los lodos biológicos producidos durante el proceso de tratamiento de agua, son las siguientes

- ✓ Bajo consumo de energía ya que el biogás producido se quemará para calentamiento
- ✓ El riesgo de olores puede controlarse ya que los digestores están cerrados y el sistema biogás está perfectamente controlado

Para efectos de flexibilidad en la operación y mantenimiento se optaron por tener 2 digestores con la posibilidad de operar de manera independiente cada uno de ellos. Adicionalmente, existe la posibilidad de bypass de los digestores y enviar los lodos espesados directamente al tanque de lodos digeridos. Resumiendo, esta concepción permite el mantenimiento de uno o dos digestores sin interrupción de la planta.

Es importante señalar que la digestión anaerobia ha sido diseñada de acuerdo con los criterios de diseño establecidos; es decir el volumen del sistema de digestión ha sido calculado para que el tiempo de residencia del lodo (SRT) sea mayor a 20 días. Este tiempo de residencia permite garantizar el proceso completo de digestión y en consecuencia la estabilización del lodo.

Con respecto a la remoción de materias volátiles, esta depende de diferentes parámetros como pueden ser el pH, temperatura, la cantidad de materia volátil contenida en el lodo alimentado, el tiempo de residencia (SRT), pero también de parámetros intrínsecos a la calidad de lodos que son difíciles de estimar.

La experiencia de SUEZ demuestra que una remoción superior al 35% solo se presenta bajo situaciones especiales. Esta experiencia está sustentada con fuentes como la US EPA que soportan que la remoción de volátiles en estas condiciones generalmente no supera el 38%. Sin embargo, con esta remoción y con las condiciones de diseño seleccionadas se puede garantizar la estabilización del lodo.

5.3.5.5 DIGESTOR ANAEROBIO MODULAR CON ACUMULADOR DE BIOGAS INTEGRAL

Para realizar la digestión anaerobia de los lodos se ha seleccionado un sistema patentado LIPP KomBio, el cual reúne en un solo reactor las funciones de almacenamiento de lodo, almacenamiento de biogás producido, estabilización, agitación, calefacción, y digestión.

Esquema No. 17 Digestores anaerobios



Fuente: (SUEZ, 2017)

El reactor combina un acumulador de biogás con un digestor de alto desempeño, obteniendo una mezcla óptima de biomasa con un alto rendimiento térmico.

Los componentes individuales del tanque son resultado de numerosas innovaciones. En primer lugar, el acumulador de biogás integral ofrece muchas ventajas, por ejemplo, el sellado integral de la membrana acumuladora de biogás flexible en un tanque de compensación, o que reduce las pérdidas de biogás. La construcción del techo fijo asegura la protección de la membrana acumuladora de gas de las inclemencias del tiempo y por lo tanto, extiende la vida útil de la membrana considerablemente.

El calentamiento para el reactor KomBio@ está fuera del recipiente metálico, asegurando una buena entrada de calor en toda la altura de llenado del tanque. El aislamiento térmico en el envoltorio del tanque permite a la unidad ser utilizado tanto en las regiones frías como calientes en todo el mundo, una característica adicional del reactor KomBioB, es la tecnología patentada de agitación para una amplia variedad de sustratos con una mezcla uniforme al interior del contenedor.

Esquema No. 18 Contenedor Kombio



Fuente: (SUEZ, 2017)

Alimentación de los digestores

Cada digestor cuenta con una bomba de alimentación, que conduce el lodo espesado a la parte superior del digestor. En este sitio se reciben también los lodos recirculados provenientes de la parte inferior del digestor

Calentamiento de los digestores

El digestor está equipado con una red de calefacción en la envolvente del tanque, con el propósito de mantener una temperatura interna de 35°C,

Los digestores están acoplados a una central de producción de agua caliente mediante una red o recirculación de agua caliente. La recirculación de agua caliente es realizada por bombas centrífugas

La central de calefacción proviene de dos fuentes:

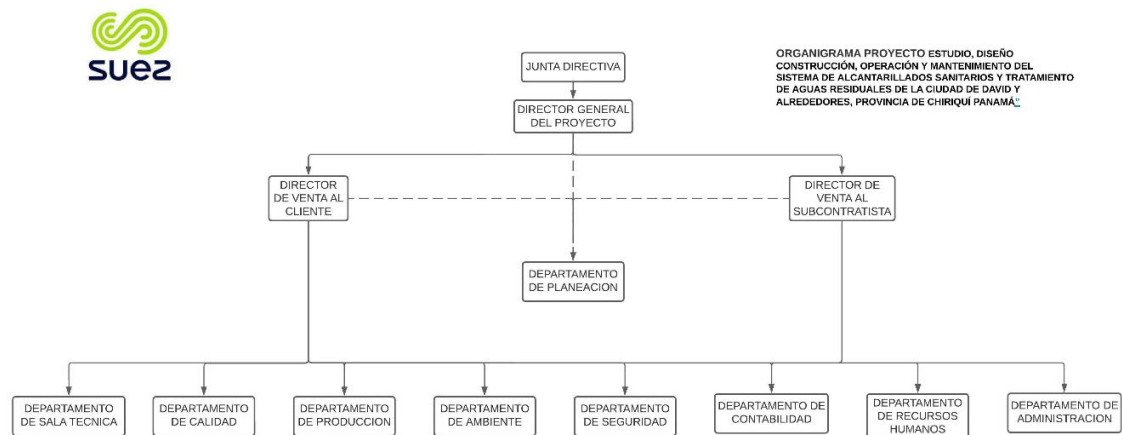
- El primer circuito recircula el agua a calentar en la caldera, la temperatura del agua a la salida de la caldera llega a aproximadamente a 90°C, un aporte complementario de agua permite compensar las pérdidas de agua por evaporación.
- El segundo circuito recircula el agua a calentar en el moto generador, la temperatura del agua del circuito secundario del moto generador es de aproximadamente 70°C

La caldera se calienta con un quemador dual de combustible biogás-diésel. El moto generador se alimenta del biogás producido por la PTAR para la generación de energía eléctrica. Como efecto de su funcionamiento es requisito el enfriamiento de la unidad, como todo motor de combustible. De esta manera es como se aprovecha y utiliza el agua de enfriamiento-calentamiento mediante un circuito entre el moto generador y el digestor.

6 Actividades ejecutadas por el estudiante

El proyecto cuenta con un organigrama que permite conocer cada uno de los departamentos que dinamizan y gestionan el objetivo del mismo.

Esquema No. 19 Organigrama del proyecto



Fuente: (SUEZ, 2017)

A continuación, se describen las funciones de cada uno de los cargos que hacen parte del gráfico anterior

Director general del proyecto: Es un Ingeniero civil con perfil administrativo con alta experiencia en este tipo de obras, nombrado por la empresa con el fin de ejecutar el proyecto, y liderar el equipo responsable para alcanzar los objetivos del mismo.

Director de venta al cliente: Es un ingeniero civil con perfil administrativo con alta experiencia en esta clase de obras, encargado de mantener las relaciones con el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacional (IDAN), con el fin de gestionar y controlar todos los aspectos relacionados con este; tales como el seguimiento y control del contrato junto con los adendos estipulados.

Director de venta a los subcontratistas: Es un ingeniero civil con perfil administrativo con alta experiencia en esta clase de obras, encargado de mantener las relaciones con los subcontratistas, con el fin de gestionar y controlar todos los aspectos relacionados con estos; tales como la gestión, seguimiento y control de los contratos junto con los adendos estipulados.

Departamento de Planeación: el proyecto en referencia cuenta con un departamento de planeación que determina el curso de acción para que este, cumpla sus etapas y satisfaga de manera acertada los objetivos de calidad, costos, tiempo y rendimiento técnico. Para el desarrollo de la planeación de esta obra, se tiene en cuenta los procesos a realizar como: la realización del cronograma de actividades, plan de aseguramiento de la calidad, gestión presupuestal, plan de manejo ambiental y el plan de administración de riesgos.

Departamento de sala técnica: son los encargados de la parte técnica de la obra, arquitectura, estructura, electromecánica y topográfica. Están encargados hacer aclaraciones o modificaciones de elementos según los planos vs lo que se ejecuta.

Departamento de calidad: está encargado de verificar que los objetivos que se han planteado en las etapas previas del proyecto, se cumplan dentro de los plazos previstos y con los recursos que han sido asignados.

Departamento de producción: son los inspectores de obra o residentes de obra para dar seguimiento a la labor de los subcontratistas en la ejecución del proyecto.

Departamento de Ambiente: está encargado de crear junto a otros departamentos el plan de auditoría internas y externas. Controlar y supervisar la gestión de residuos de las obras, el mantenimiento, la higiene y la limpieza de los espacios.

Departamento de seguridad industrial: está encargada de prevenir los accidentes laborales, los cuales se producen como consecuencia de las acciones cotidianas de la obra; tiene por misión con Son los encargados de la seguridad de los trabajadores. Tiene por misión contribuir al mejoramiento del bienestar integral de los trabajadores, independientemente de su forma de vinculación, mediante acciones de referencia, seguimiento y vigilancia.

Departamento de contabilidad: su misión es procesar la información contable de la obra, aplicando las normas y procedimientos vigentes a fin de lograr información oportuna y confiable que produzca los elementos de análisis para la toma de decisiones en la evaluación, programación y control de los recursos financieros de la obra y en cumplimiento de obligaciones para con las entidades de vigilancia y control.

Departamento de recursos humanos: su función es la administración del personal. Selección y formalización de los contratos que se suscriben con los trabajadores. Tramitación de nóminas y seguros sociales. Control de los derechos y deberes de los trabajadores (permisos, vacaciones, movilidad, salud laboral, seguridad e higiene en el trabajo, etc).

Departamento de administración: se encarga del mantenimiento y buen uso de los muebles e inmuebles de la obra

Teniendo en cuenta lo anterior es importante señalar la participación, las actividades y las interrelaciones que ha tenido el estudiante como trabajador de este proyecto, partiendo de su cargo como ingeniero de planificación junior en el Departamento de Planeación. A continuación, se describen las funciones de este cargo.

- ✓ Analizar y cuantificar los aspectos técnicos del control en obra con el fin de presentar las evidencias que serán utilizadas en la facturación para hacer presentadas al cliente.
- ✓ Identificar y cuantificar el control de la puesta en obra de instalación de tubería, rellenos, pavimentos de concreto y de asfalto, acero, encofrados y vaciados de hormigón según la ejecución de los subcontratistas.

- ✓ Elaborar y analizar el cronograma práctico de la organización y control de las fases de las obras de construcción con ayuda de un software llamado Primavera para medir el avance planificado, físico y económico; incluyendo mano de obra, equipos y materiales. Estos controles permiten saber si la obra está progresando de acuerdo al plan elaborado, para que se efectúen los cambios o mejoras necesarias para recuperar el tiempo perdido o reducir los costos con el uso de otros métodos de trabajo.

7 CONCLUSIONES

Se identificó que este proyecto garantizara un mayor rendimiento para el tratamiento y retención de elementos como aceites y grasas, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, potencial de hidrógeno y sólidos suspendidos totales; mejorará el aspecto estético de la ciudad en referencia al servicio sanitario y alcantarillado, se evitarán los constantes derrames y obstrucciones del sistema, focos de contaminación hacia la ciudadanía, se eliminará en un 70% la contaminación de los acuíferos que existen en la ciudad de David y disminuirá el uso de tanques sépticos comunes.

Adicionalmente, los sistemas operativos serán autosuficientes para el desarrollo de nuevas fuentes de energía y elementos tecnológicos para el ahorro eficiente de consumo energético, mejorará la calidad de vida de sus residentes, manteniendo los recursos naturales y permitiendo aumentar el nivel atractivo de la ciudad de David. Durante el desarrollo de este proyecto.

Teniendo en cuenta nuestro tema de estudio, podemos concluir que las aguas residuales son el producto de diversas actividades en el hogar, el comercio e industria; siendo estas aguas las que manifiestan mayor número de contaminantes debido a que presentan sólidos, desechos orgánicos, detergentes y grasas entre otros componentes. Por lo cual, uno de los aspectos más importantes es el tratamiento de dichas aguas y por su nivel de contaminación requiere de procesos de purificación extensos para liberarlas de componentes como fluidos fisiológicos y minerales altamente contaminantes.

Por consiguiente, el objetivo de este tratamiento radica en la probabilidad de devolver el líquido a afluentes naturales sin que represente un peligro para los seres vivos de los diversos ecosistemas según lo establecido por las normas y estándares nacionales e internacionales. Por ende, la planta de descontaminación de este proyecto dispone de equipos altamente certificados, con la finalidad de lograr la descontaminación a nivel física, química y biológica.

Cabe destacar que este tratamiento de aguas residuales es relevante debido a que cubre la demanda de este recurso renovable, que por su mal uso no cumple con su ciclo. Por efecto, el tratamiento de agua residual satisface los requerimientos de la población, los beneficios a nivel económico y ambiental.

De otra parte, se concluye que el desarrollo normativo del RAS se caracteriza por ser simple y conciso, mientras que el conjunto de normas de COPANIT tiende a ser desordenado. Esto último es causado por el nivel de generalidades con las que cuenta. El RAS por su parte con los manuales para construir la infraestructura que debe cumplir con los requerimientos.

Con relación a la estructura de planeación, gestión, control y evaluación del proyecto objeto de estudio, se concluye que cuenta con tecnología física y tecnológica avanzada, recurso humano altamente calificado; por ende, los resultados eficientes y eficaces, que permiten evaluar como un megaproyecto en América Central. Su planeación, herramienta 100% utilizada en las seis fases estipuladas al inicio, demuestra la importancia e impacto de calidad, cumplimiento, control de costos y presupuestos junto con la sustentabilidad en el desarrollo de la obra. Es un proyecto integral que en globala la planificación, coordinación y control de actividades debido a la implementación de estrategias de cumplimiento en la planificación. De otra parte, la cultura de evaluación y mejora continua se realiza en todos los factores involucrados; estos son aspectos relevantes en la toma de decisiones y en los resultados que a la fecha ha obtenido el proyecto.

No puedo dejar de reconocer el esfuerzo que el gobierno de Panamá realiza para mejorar la calidad de vida de su población, diseñando y ejecutando políticas que buscan el cierre de brechas de miles de panameños que se encuentran en condiciones de pobreza, realizando este tipo de proyectos que logran el objetivo planteado.

Por último, concluyo, que el plan de estudio del programa académico de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomas es pertinente y relevante a las necesidades del mercado; teniendo en cuenta que la experiencia de participar en un megaproyecto como este, ha evidenciado las capacidades y competencias adquiridas como ingeniero; en un departamento tan estratégico y transversal como es el de planeación. Como bien se mencionó anteriormente, esta obra utiliza como eje dinamizador de su gestión, la planeación; es por esta razón, que el cargo de Ingeniero Planificador Junior tiene la oportunidad de hacer parte activa de cada de los procesos del proyecto.

8 Bibliografía

DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Colombia.

Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC). (2022). *Censo nacional*. Panama.

Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama*. Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/>

Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama. (2000). *Instituto Nacional de Estadística y Censo- Panama*. Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/>

Instituto Nacional de Estadística y Censo -Panama. (1990). *Instituto Nacional de Estadística y Censo - Panama*. Obtenido de <https://www.inec.gob.pa/>

LAB, E. (s.f.). *EnviroLAB*. Obtenido de <https://envirolabonline.com/nuestra-empresa/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). Resolución 0631 de 2015. Bogota, Colombia.

Ministerio de Comercio e Industria Republica de Panama. (04 de Enero de 2008). Resolución 011 del 2008. Panamá, Panamá.

Ministerio de Comercio e Industrias Republica de Panama. (julio de 2000). Resolución 350
Reglamento técnico DGNTI-COPANIT 39-2000. Panamá, Panamá.

Ministerio de vivienda Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017). Resolución 0330. Bogota,
Colombia.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (09 de Diciembre de 2021). Resolucion 0799. Bogota,
Colombia.

Salguero, S. O. (2011). Tratmoento de Aguas Residuales Domesticas En Centroamerica. San
Salvador, Honduras.

SUEZ. (2017). ARCHIVO. PANAMA.

Vargas, L. d. (2012). Procesos Unitarios y Plantas de Tratamiento. Apurímac, Peru.