



# UNIVERSIDAD CENTRAL DE COSTA RICA

Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación

Diseño de una Planta de Tratamiento de desfogue de Aguas Negras y Agua Servidas, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón de San Mateo, de Alajuela.

**Profesor Tutor:**

Ing. Claudio Zuñiga Serrano

**Estudiante:**

Carlos Alberto Enríquez Rodríguez

*II Cuatrimestre, 2022*

## Abreviaturas

ACH	Agua para Consumo Humano
AMSJ	Área Metropolitana de San José
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADAS	Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes
ASAPS	Análisis Sectorial de Agua Potable y Saneamiento
AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
BCCR	Banco Central de Costa Rica
BCIE	Banco Centroamericano de Integración Económica
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CC	Cambio Climático
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos
CGRCR	Controlaría General de la República de Costa Rica
CNE	Comisión Nacional de Emergencias
EN	Estado de la Nación
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FOCARD-APS	Foro Centroamericano y de República Dominicana de Agua Potable y Saneamiento
FODESAF	Fondo de Desarrollo de Asignaciones Familiares
FOMUDE	Proyecto de Fortalecimiento Municipal y Descentralización
GAM	Gran Área Metropolitana
GIS	Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)
GRD	Gestión Regional del Riesgo

IDH	Índice de Desarrollo Humano
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
LATINOSAN	Conferencia Latinoamericana de Saneamiento
LNA	Laboratorio Nacional de Agua
MIDEPLAN	Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
MINAET	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones
MSP	Ministerio de Salud Pública
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PIB	Producto Interno Bruto
PIBT	Producto Interno Bruto Total
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
SANEBAR	Proyecto de Saneamiento Básico Rural
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental

## TABLA DE CONTENIDO

Declaración Jurada .....	i
.....	i
Carta De Aprobación del Tutor.....	ii
Solicitud de Autorizacion de Proyecto a la Municipalidad de San Mateo .....	iii
Carta de Autorizacion de Proyecto por la Municipalidad de San Mateo .....	iv
Carta de Autorizacon del Tutor .....	v
Carta de Autorizacon del LECTOR .....	vi
Carta de Autorizacon de la Filologa .....	vii
Carta solicitud de defensa.....	viii
Tabla de contenido.....	xii
<b>CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Descripción del problema.....	1
1.3 Pregunta de investigación .....	4
1.4 Antecedentes. ....	4
1.5 Objetivos.....	9
1.5.1 Objetivo General.....	9
1.5.2 Objetivos Específicos. ....	9
1.6 Proyecciones de la investigación. ....	10
1.6.1 Alcances.....	10
1.7 Limitaciones. ....	12
1.7.1 De Recursos:.....	12
1.7.2 De alcance .....	12
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1 Generalidades de San Mateo.....	13

2.1.1	Orígenes del cantón. ....	13
2.1.2	Organización Política Administrativa.....	15
2.1.3	Clima del pueblo de San Mateo .....	16
2.1.4	Hidrografía del cantón de San Mateo .....	17
2.1.5	Geología de Cantón de San Mateo .....	18
2.1.6	Acueducto del cantón de San Mateo .....	18
2.2	Conceptos básicos.....	20
2.2.1	Definiciones de área rural y área urbana. ....	20
2.2.2	Aguas residuales. ....	21
2.2.3	Contaminantes en aguas residuales.....	22
	Características y Caracterización de las aguas residuales.....	22
2.3	Características Físicas .....	23
2.3.1	Sólidos Totales .....	23
2.3.2	Los sólidos disueltos, y sólidos suspendidos .....	24
2.4	Características Químicas .....	26
2.4.1	Materia Orgánica .....	26
2.4.2	Demanda Bioquímica de oxígeno DBO .....	27
2.4.3	Demanda Química de oxígeno DQO .....	28
2.5	Características biológicas .....	31
2.6	Tipos de alcantarillado .....	32
2.7	Clasificación de las tuberías.....	32
2.8	Capacidad del sistema.....	33
2.9	Tratamiento del agua residual.....	34
	Requisitos específicos para componentes físicos de una planta de tratamiento de aguas residuales.....	35
	Marco Jurídico (Normas Internacionales y Legislación sobre Agua residuales) ...	39
2.10	Normas Nacionales.....	39
2.11	Normas Internacionales. ....	41
2.12	Reglamentación de Aguas Residuales.....	43

2.12.1	Normas de vertido .....	43
2.12.2	Aprobación y operación de sistemas de tratamiento.....	46
	Generalidades del Sistema de Tratamiento Aguas Residuales .....	48
	Procesos para el tratamiento Aguas Residuales .....	49
2.13	Sistema Biológico Aerobio .....	49
2.14	Sistema Biológico Anaerobio .....	51
2.15	2.9 Parámetros de diseño .....	52
2.15.1	A. Periodo de diseño .....	52
2.15.2	Población de Diseño.....	52
2.15.3	Coeficiente de retorno .....	52
2.15.4	Ubicación.....	53
2.15.5	Velocidad .....	53
2.15.6	Tirante hidráulico máximo.....	53
2.15.7	Forma de sección de los conductos .....	53
2.15.8	Continuidad de tuberías.....	53
2.15.9	Profundidad .....	53
2.15.10	Pozos de Registro .....	53
2.15.11	Diámetro mínimo nominal.....	53
2.15.12	Dotación domiciliar .....	54
2.15.13	Caudales .....	54
	Caudales de Diseño Aguas residuales ordinarias (Q <sub>paro</sub> ). .....	54
2.16	Aguas residuales ordinarias (Q <sub>paro</sub> ):.....	54
2.17	Caudal máximo horario de aguas residuales.....	55
2.18	Cálculo Caudal de diseño .....	55
2.19	Fórmula de Manning .....	55
	<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>56</b>
3.1	Enfoque de la Investigación .....	56
3.2	Tipo de investigación .....	58
3.3	Sujetos y fuentes de investigación .....	59

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADO .....	60
3.4 Análisis Demográfico .....	60
3.4.1 Población de diseño .....	60
3.4.2 Método de estimación futura a la población del cantón San Mateo .....	60
3.4.3 Primer Método Aritmético o Lineal .....	61
3.4.4 Segundo Método Geométrico .....	62
3.4.5 Tercer Método analítico o logarítmico .....	63
3.4.6 Cuarto método de Wappus .....	64
3.4.7 Análisis demográfico de la zona .....	65
Población de diseño según cantidad de personas .....	66
Población de diseño por cantidad de viviendas tanto habitables y su Densidad...	68
3.5 Cálculo de caudales de diseño.....	69
3.6 Aguas residuales ordinarias (Qpar): .....	71
3.7 Cargas Contaminantes .....	72
Capítulo V Diseño de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales. ....	73
3.8 Diseño de la red de alcantarillado sanitario .....	73
3.9 Sistema de Alcantarillados y sus elementos que lo componen.....	73
3.10 Resumen de Diseño Alcantarillado .....	75
3.11 Propuesta para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales. 80	
3.12 Componentes y Procesos para una planta de tratamiento .....	83
Descripción de los diseños del componente de la PTAR. ....	83
3.13 Primera etapa “Separación de Sólidos” .....	83
3.13.1 Cámara Rejas de desbaste. ....	83
3.13.2 Rejillas de limpieza manual .....	84
3.13.3 Diseño de rejillas de desbaste manual .....	85
3.14 Clasificación de las rejillas de desbaste .....	86
3.15 Sedimentador.....	91
3.15.1 Zona de Entrada.....	93

3.15.2	Zona de Sedimentación.....	93
3.15.3	Zona de salida.....	93
3.15.4	Zona de Recolección de Lodos .....	93
3.15.5	Tiempo de detención .....	93
3.15.6	Velocidad de flujo .....	93
3.15.7	Altura del agua .....	93
3.15.8	Pendiente longitudinal .....	94
3.16	Diseño de Sedimentador.....	94
3.17	Parámetros de diseño sedimentador.....	94
3.17.1	Velocidad de sedimentación .....	94
3.17.2	Número de Reynolds.....	95
3.17.3	Coeficiente CD o de arrastre .....	96
3.17.4	Velocidad real de sedimentación .....	97
3.18	Dimensionamiento del Sedimentador.....	98
3.19	Área superficial del sedimentador .....	98
3.19.1	Dimensiones en su base y longitud del sedimentador .....	99
3.19.2	Velocidad Horizontal.....	99
3.19.3	Velocidad de arrastre .....	100
3.19.4	Área total de orificios en la pantalla difusora.....	102
3.19.5	Número de orificios en la pantalla difusora .....	103
3.19.6	Altura efectiva de la pantalla difusora .....	103
3.20	Eficiencia del sedimentador .....	104
3.20.1	Remoción de DBO.....	104
3.20.2	Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST .....	105
3.21	Lecho de secado de lodos .....	106
3.21.1	Carga de sólidos en sedimentadores.....	109
3.21.2	Masa de Sólidos .....	110
3.21.3	Volumen diario de lodos digeridos .....	110
3.22	Volumen de lodos a extraerse del taque sedimentador .....	111
3.23	Dimensionamiento .....	112

3.23.1	Área de lecho de secado .....	112
3.24	Humedal Artificial (secundaria y terciaria) .....	113
3.25	Diseño Humedal .....	115
3.26	Área Superficial del humedal según método Reed.....	116
3.27	Método Crites & Techonoglous .....	117
3.28	Área Superficial.....	118
3.29	Sistema de Saneamiento referente al diseño del alcantarillado sanitario 120	
	Esquema de Diseño tuberías y pozos aguas servidas y sanitarias .....	121
	Manual de Operación y Mantenimiento para la Planta de tratamiento de desfogues de Aguas Negras y Aguas Servidas, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón de San Mateo, en Alajuela.....	123
3.30	Introducción. ....	123
3.31	Método Planteado (Sistema Propuesto) para la Planta de Tratamiento ubicado en distrito San Mateo .....	124
3.31.1	B.1 Componentes y Procesos para una planta de tratamiento .....	124
3.31.2	B.2 Separación de Sólidos .....	125
3.31.3	B.2.2 Tanque Sedimentador .....	125
3.31.4	Lecho de Biorremediación .....	126
3.32	Lecho de Secado de Lodos.....	126
3.33	B.4 Receptor de agua tratada .....	127
3.34	Operación y Mantenimiento .....	127
3.34.1	C.1 Operación de la Planta.....	127
3.34.2	C.2 Puesta en Marcha.....	128
3.34.3	C.3 Equipo citado para el manejo de la planta.....	129
3.35	Personal Adecuado para el trabajo en planta.....	130
3.35.1	Presentar informes y pruebas de laboratorio .....	131
3.36	Presupuesto y plan de financiamiento de la Obra. ....	131
3.36.1	Presupuesto de Pozos y Tubería Sanitarias .....	132

3.37	5.3.2 Cronograma Actividades para los trabajos de la Planta y Alcantarillado .....	135
3.38	Plano Catastro donde estará ubicada la Planta Tratamiento .....	138
CAPÍTULO VI. Conclusiones y recomendaciones .....		139
3.39	Conclusiones .....	139
3.40	Recomendaciones .....	141
Capítulo VII. Referencias Bibliográficas .....		142
REFERENCIAS .....		142
Capítulo V	Anexos .....	151

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Planteamiento del problema.**

La contaminación de un río que riega largos kilómetros durante su recorrido, podría ser un problema que afecte por completo a la comunidad. Por eso es importante tomar consciencia del gran problema ambiental que puede representar el desbordamiento de las aguas negras y aguas servidas, así como la contaminación del recurso acuático que se alberga en la tierra (los mantos acuíferos). También representa un peligro potencial para los ecosistemas, hábitats, y la salud de las personas que habitan el cantón.

El estudio preliminar de la geografía; misma que es irregular y con un desnivel al sur del cantón; la densidad poblacional y la forma de abastecimiento de agua al distrito central, son los objetivos más sobresalientes para el diseño del alcantarillado que mejorará el problema que podría presentar el cantón con el desbordamiento de las aguas negras y servidas, así como la potencial contaminación de los mantos acuíferos.

### **1.2 Descripción del problema.**

La escasez de plantas destinadas al tratamiento para aguas negras y servidas (AYA I. A., 2009, pág. 5), expone al futuro del cantón, ante un potencial peligro de contaminación, no solo para sus ríos, sino también para sus mantos acuíferos. La contaminación de estos mantos, es tan solo uno de los problemas que empiezan a preocupar a la población costarricense.

En el año 2008, como parte la publicación “Gestión integrada del recurso hídrico en la Legislación Costarricense”, Peña Chacón señala que:

“Costa Rica recibe más de 167 Km<sup>3</sup> de precipitaciones anuales, dispone 112,4 km<sup>2</sup> de recurso hídrico, posee 34 cuencas hidrográficas y cuenta con uno de los índices más altos respecto a cobertura de agua para consumo humano de un 82,2%, el 76% de su población recibe agua con desinfección continua, mientras el 63,5% consume agua que ha sido sometida a control de calidad. A pesar de lo anterior, los cuerpos acuáticos superficiales presentan un grado importante de contaminación proveniente en un 20% de aguas residuales urbanas, un 40% de desechos sólidos e industriales y un 40% se originan del sector agrícola. Únicamente un 3% de los efluentes producidos son tratados. (Peña Chacón, 2008, pág. 7).

Como complemento a los datos aportados por Peña Chacón, se puede agregar que tan sólo el 5% del sector industrial cuenta con sistemas de tratamiento de aguas residuales y que diariamente cerca de 250 mil metros cúbicos de aguas residuales, son vertidos en el río Virilla, afluente del Río grande de Tárcoles, ya por demás conocido por poseer la cuenca más contaminada de Centro América (Peña Chacón, 2008, págs. 7-8).

La potencial contaminación del río Machuca en el cantón de San Mateo, Alajuela; por aguas negras y servidas, es un problema que preocupa a la población. Este río es uno de los afluentes más importantes del cantón, y sirve de límite natural entre los cantones de Orotina y San Mateo; también sus aguas son aprovechadas mediante sistema de riego en diferentes comunidades. Sumado a la geomorfología de la zona y al crecimiento demográfico, este uno de los temas que genera preocupación en los habitantes del cantón y en los representantes ante el gobierno local.

Con el crecimiento poblacional e industrial, aumenta también la generación de materia fecal y contaminación por el inadecuado uso de químicos (tanto para uso agropecuario como para uso agroindustrial), se genera una creciente exposición de los suelos, a infiltraciones de los efluentes de los tanques sépticos y contaminación por el uso de fertilizantes nitrogenados; lo que en ambos casos, por citar un ejemplo, causa contaminación por nitratos (lo que puede llegar a pasar los 50 mg/L), propiciando así posibles afectaciones como la metahemoglobinemia (pérdida de capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno) en niños lactantes menores a 6 meses y otras causas (Ministerio de Salud, 2004, pág. 25).

Con el paso de los años, el sistema de vigilancia epidemiológica en el país ha detectado enfermedades relacionadas con el agua, como la disentería amebiana, Disentería bacilar, enfermedades diarreicas (como *salmonelosis* y *shigelosis*), Hepatitis A, Fiebre paratifoidea y Tifoidea (Ministerio de Salud, 2004, pág. 27).

Como una alternativa ante la contaminación de los cuerpos de agua, instituciones como el MIDEPLAN, en conjunto con las demás dependencias gubernamentales y con el apoyo de organismos internacionales, promueven la formulación de estrategias que permitan la reducción de la contaminación de los cuerpos de agua (mantos, acuíferos y litorales) y que preserven el recurso hídrico en la región para consumo humano y otros usos. (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2014, pág. 78). También para la implementación de estrategias regionales para el manejo integral y protección de recurso hídrico, acuíferos y de las cuencas hidrográficas, para la protección como fuente de abastecimiento; y para la formulación de proyectos para el desarrollo infraestructural por comunidades y grupos organizados (PNUD-FOMUDE, 2009, pág. 39).

Una solución para mitigar, en gran parte, este problema de contaminación, y de cumplir con las directrices generales que se han establecido, corresponde al diseño de una Planta para el Tratamiento del Desfogue de Aguas Negras y Aguas Servidas, misma que recogería las aguas del distrito central del cantón de San Mateo, en la provincia de Alajuela.

### **1.3 Pregunta de investigación**

Por lo anterior, se deriva la incógnita que sustenta este documento:

¿Cuál sería una alternativa adecuada, que garantice un mejor tratamiento para las aguas negras y las aguas servidas, mejorando así la calidad de vida de los habitantes en el cantón de San Mateo?

### **1.4 Antecedentes.**

Entre los primeros sistemas de alcantarillado sanitario en Costa Rica, se encuentra referencias que datan del año 1911 en las ciudades de San José y Cartago. En la provincia de Alajuela, el primer sistema de alcantarillado fue construido en el año 1936, finalizando en los años 40's (AYA I. A., 2009, pág. 5).

A pesar de lo anterior, durante las primeras décadas del siglo XXI, el país no contaba con un programa integral para el manejo adecuado de las aguas residuales domésticas (AYA I. A., 2009, pág. 6), lo que conlleva a la creación de instrumentos legales e institucionales, que permitan mejorar el servicio de disposición de excrementos y aguas servidas.

En la Universidad Nacional de Costa Rica, Solano Arce, en su tesis titulada "Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media - alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo" (Solano Arce, 2011), se da a conocer el nivel de impacto ambiental mediante una base datos necesarias para la realización de planes de acción

específicos a futuro, que ayuden a mejorar la calidad del agua del cauce del río Damas.

Estudia también el recurso hídrico superficial, que ha sido afectado por el mal manejo de las cuencas hidrográficas debido principalmente a prácticas antropogénicas. Dentro de las conclusiones y recomendaciones a las que llega la investigadora Solano Arce señala que:

La problemática que se presenta en la cuenca, es que se puede distinguir una red urbana concentrada en el cantón Central que va expandiendo su mancha hasta alcanzar las zonas altas de la cuenca, por lo que la degradación e impermeabilización de la misma es cada vez más evidente (Solano Arce, 2011, pág. 132).

En las recomendaciones esta menciona que para implementar una adecuada gestión integral de residuos sólidos a nivel de país es fundamental contar con una adecuada estructura organizacional, con 135 competencias claramente establecidas, considerando todas las instituciones y actores relacionados con el tema. Para alcanzar mejores resultados de una buena gestión de residuos sólidos, no se puede dejar de lado el tema de la educación y sensibilización de las personas en este tema. Además, recalca también que las autoridades deben fomentar y compartir responsabilidades, de modo que los ciudadanos asuman una actitud más positiva en sus hábitos de consumo y la responsabilidad por los residuos que generan.

Entre las semejanzas que se identifican de este estudio con la presente investigación son el estudio geográfico de la zona, específicamente del río sobre las aguas residuales y la afectación que éstas tiene sobre el río Damas. Dentro de las diferencias encontradas es que la autora en su investigación determina la importancia sobre las acciones antropogénicas que deja las aguas residuales en el río Damas a nivel ambiental y la investigación presente hace hincapié en el estudio de la zona para un posible tratamiento de las aguas residuales (Solano Arce, 2011).

En el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Campos Castillo, en su tesis titulada Diseño de una herramienta para la toma de decisiones en la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en urbanizaciones y condominios (Campos-Castillo, 2011), estipuló como objetivo el “prevenir la contaminación de cuerpos de agua generada por la disposición inadecuada de efluentes líquidos de tipo ordinario en urbanizaciones y condominios” (Campos-Castillo, 2011, pág. 8).

Campos Castillo expresa que se le permitió realizar algunas actividades, las cuales se mencionan a continuación:

“Se procedió con la revisión de códigos y documentos técnicos referentes a obras de tratamiento y disposición de aguas residuales, acuerdos de junta directiva de AyA relativos a los trámites para cada tipo de proyecto y expedientes resueltos de solicitudes presentadas en el período 1997-2009 para construir una base de antecedentes” (Campos-Castillo, 2011, pág. 8).

Uno de los logros alcanzados por Campos Castillo, es la implementación de una herramienta digital que facilita el proceso de la información en función de la interpretación de los datos para la toma de decisiones:

“Se logró el desarrollo de una herramienta digital orientada a ingenieros responsables de proyectos urbanísticos que le indica al usuario, con base en variables hidrogeológicas y otros requerimientos técnicos, si debe construir un arreglo de tanque séptico más drenaje o una planta de tratamiento junto con la red interna de alcantarillado sanitario, para depurar y evacuar las aguas residuales del sitio, así como el trámite administrativo que debe cumplir ante el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y los requisitos respectivos. Además, se logró reunir en la misma documentos e información que brindan asesoría en la realización de estudios técnicos” (Campos-Castillo, 2011, pág. 22).

Debido a las condiciones hidrogeológicas de la región, que Campos Castillo estudió, surge una de las recomendaciones:

“Antes de tramitar una aprobación de planta de tratamiento de aguas residuales para una urbanización o condominio, se debe definir el tipo de reuso o disposición del efluente, considerando que para reutilización por riego se debe cumplir con las mismas regulaciones que solicita un estudio hidrogeológico para instalar sistemas de disposición de aguas residuales basados en la absorción del terreno” (Campos-Castillo, 2011, pág. 23).

La investigación citada se asemeja a esta en el sentido de que se crea una herramienta que permite conocer el problema y crear una solución para el tratamiento de las aguas residuales. Entre las diferencias que existen está en que, el autor se centra en urbanizaciones y condominios, además, utiliza una herramienta digital para el objetivo de su investigación.

En la Universidad de Costa Rica, Calderón Barrantes, en su tesis titulada: Diseño preliminar del alcantarillado sanitario para la recolección de las aguas residuales de San José de la Montaña, y propuesta del sistema de tratamiento más adecuado, plantea como objetivo:

“Elaborar un diseño preliminar del alcantarillado sanitario y propuesta de una planta de tratamiento de las aguas residuales para el distrito de San José de la Montaña, en Heredia, para reducir la contaminación directa sobre el acuífero de Barva” (Calderón Barrantes, 2013, pág. 5).

El autor de este estudio realizó las siguientes acciones para cumplir con el objetivo, las cuales son el desarrollo de un diagnóstico de la zona, que determinan los elementos básicos para la concepción del sistema de alcantarillado sanitario, los cuales son el periodo de diseño para el cual se espera que el alcantarillado realice un buen funcionamiento y las proyecciones de la población con algunos de los métodos mencionados anteriormente en el marco teórico, para con ello obtener el dato sobre la población para la cual se va a realizar el diseño y determinar

el caudal de diseño que pasa por el sistema de alcantarillado y llega a la planta de tratamiento (Calderón Barrantes, 2013, pág. 12).

Dentro de las conclusiones se tiene que: La contaminación del acuífero de Barva va en incremento y uno de sus principales focos de contaminación son las aguas residuales producidas por la población de San José de la Montaña (Calderón Barrantes, 2013, pág. 126).

Además también agrega que: uno de los mayores beneficios que brinda el alcantarillado sanitario es la disminución de la contaminación del acuífero superficial de Barva contra la contaminación de sus aguas subterráneas que abastecen de agua potable gran parte de Heredia y parte de San José y Alajuela (Calderón Barrantes, 2013, pág. 126).

Dentro de las recomendaciones este menciona que: “El mantenimiento tanto del alcantarillado sanitario como de la planta de tratamiento es indispensable para su adecuado funcionamiento, por lo que se debe destinar el capital, equipo y personal necesario para realizarlo de la mejor manera.” (Calderón Barrantes, 2013, pág. 28) y señala que: “La operación del alcantarillado sanitario y de la planta de tratamiento, debe de ser realizado por un personal capacitado que optimice el funcionamiento de ambos sistemas” (Calderón Barrantes, 2013, pág. 128).

De la misma manera agrega que:

“Toda la información acerca de la ubicación del acueducto de agua potable de la zona debe ser analizado antes de realizar la construcción del alcantarillado sanitario, para garantizar la separación mínima normalizada que debe de haber entre la tubería de agua potable y la del alcantarillado sanitario” (Calderón Barrantes, 2013, pág. 128).

La investigación citada se asemeja a esta en la creación de un diseño de alcantarillado sanitario que recolecta las aguas residuales de la misma forma la realización de un diseño de una planta de tratamiento. Entre las diferencias se encuentra que el autor propone la realización de estos diseños para las aguas residuales que salen de San José de la Montaña.

Durante la realización de un Foro Centroamericano y de República Dominicana, en el cual se trató el tema del agua potable y del saneamiento, Ruiz Falls expuso la necesidad de homologar indicadores de operación, económicos y de institucionalidad para la gestión de las aguas residuales y excretas en Costa Rica. La homologación se base en analizar la correlación de los indicadores, MAPAS, que buscan determinar que está sustentando los progresos, más allá de las coberturas. (Ruiz Fallas, 2012).

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Elaborar una propuesta de diseño de alcantarillado sanitario que incluya su respectiva planta de tratamiento para las aguas negras, residuales, en el casco urbano del cantón de San Mateo, de Alajuela, para mejorando la calidad de vida de la población.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

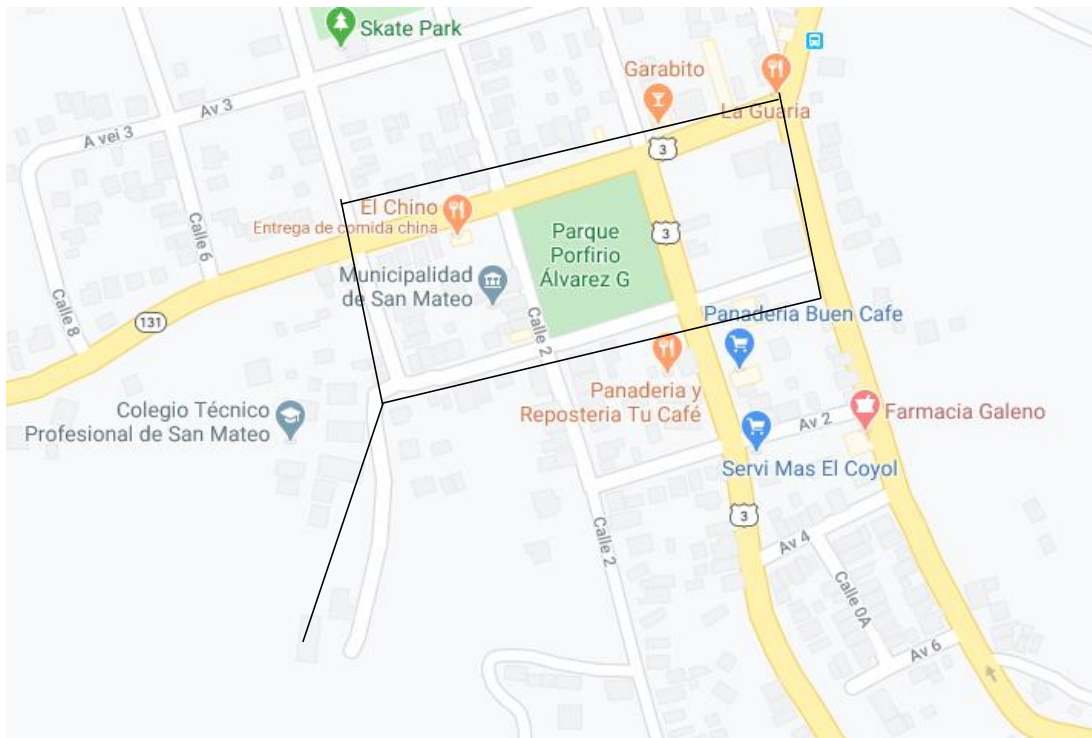
1. Estimar la producción de aguas residuales de la ciudad de San Mateo para un sistema de tratamiento que se ajuste a la Normativa del Ministerio de Salud.
2. Generar una planimetría tridimensional de la ciudad de San Mateo, para las rutas principales de los colectores sanitarios, siguiendo la metodología del Instituto de Acueductos y Alcantarillado, A y A
3. Determinar el sitio donde se pueda ubicar la planta de tratamiento, de tal manera que el flujo sea gravitatorio y se ajuste la planificación Urbana de la Ciudad.
4. Realizar un cronograma de actividades, constructivas, con su debido presupuesto por cada etapa, para que la Municipalidad establezca la factibilidad de llevar a cabo la construcción del sistema propuesto.

## 1.6 Proyecciones de la investigación.

### 1.6.1 Alcances.

Esta investigación pretende dejar una propuesta de saneamiento de aguas negras y servidas, para el sector central del cantón de San Mateo, que sirva como insumo para próximos estudios de la Municipalidad, a través de una serie de recomendaciones y conclusiones que permitirán una mayor visualización de las ventajas y beneficios que este trabajo traerá a la comunidad beneficiada, encaminado a un cambio de cultura en el tratamiento de los desechos líquidos.

#### Mapa: Zona de estudio del Pueblo de San Mateo



Fuente: Google Maps Canto Centro San Mateo

Área de Estudio sitio real en el Cantón de San Mateo, donde va la Planta y su camino



## **1.7 Limitaciones.**

Dentro de las limitaciones nos encontramos con las siguientes:

### **1.7.1 De Recursos:**

- a. Para estudios Geotécnicos, que sustenten el análisis de suelos en el diseño de la superficie de suelo, ya que la municipalidad no cuenta con ellos, incurriendo en un costo elevado para el investigador.
- b. Para estudios topográficos, que confirmen las pendientes y elevaciones de la superficie, ya que la municipalidad no cuenta con ellos, incurriendo en un costo elevado para el investigador.

### **1.7.2 De alcance**

- a. El estudio será solo en el casco semi urbano del cantón de San Mateo, por cuanto existe mayor densidad de población y las condiciones geográficas son favorables. El resto del cantón deberá tratarse en su oportunidad a través de planteamientos individuales a futuro.

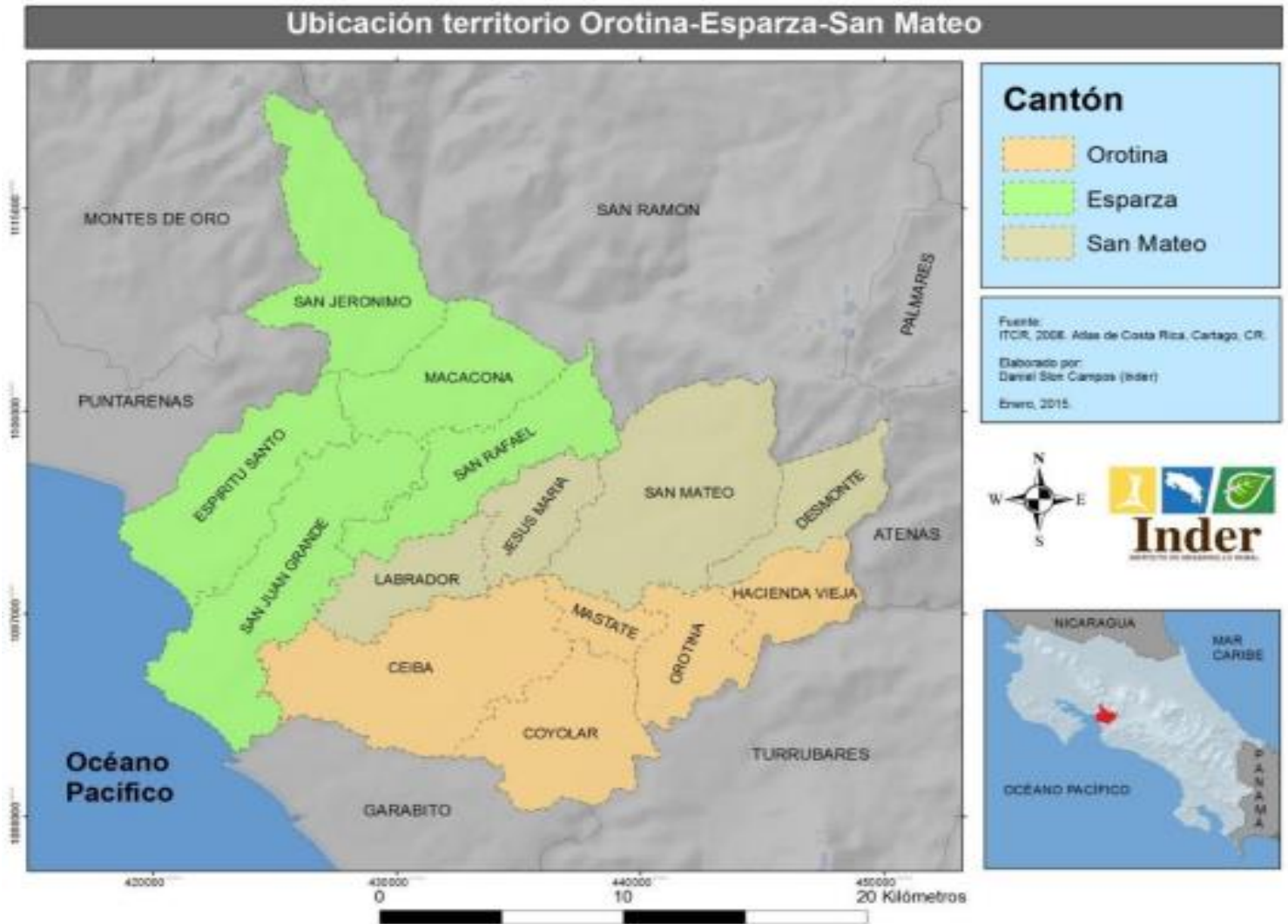
## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Generalidades de San Mateo.**

#### **2.1.1 Orígenes del cantón.**

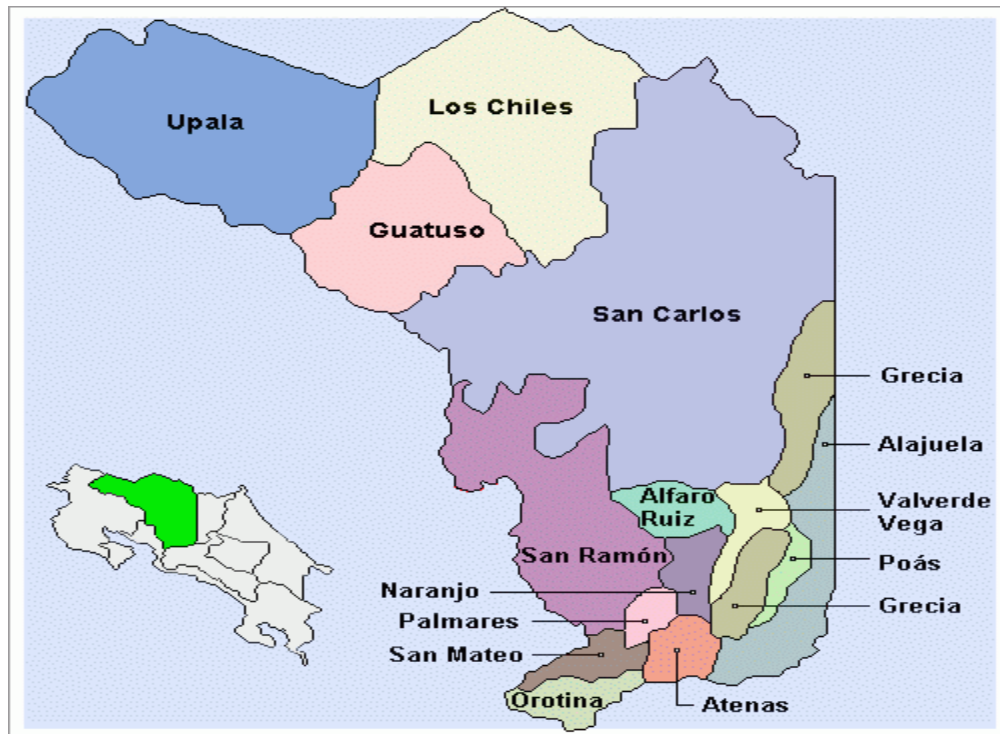
San Mateo es el cantón número 4 de la provincia de Alajuela en Costa Rica. Está localizado a 31 km (este Caldera de Esparza, a 44 km suroeste provincia Alajuela, y 58 km de la capital San José. Tiene una extensión de 125.9 km<sup>2</sup> y está dividido en 4 distritos. Límites al este con Atenas, al norte con San Ramón y Esparza, al oeste con Esparza, y al suroeste con Orotina. Su cabecera es la ciudad de San Mateo, con una población de 6.136 habitantes, y de 1.834 viviendas ocupadas según datos del Censo Nacional en el 2011. La economía de San Mateo es básicamente agropecuaria, su importancia es la ganadería de engorde, esto a sus extensas llanuras. La agricultura su importancia es el cultivo del café y los frutales, sobre todo el marañón.

**Ilustración Mapa Territorial**



Fuente: Mapas de Costa Rica, Pág. Web

**Ilustración Mapa: Provincia Alajuela (San Mateo)**



Fuente: Mapas de Costa Rica, Pág. Web

**2.1.2 Organización Política Administrativa.**

El cantón de San Mateo presenta una división territorial que incluye 3 distritos, San Mateo, Desmonte y Jesús María.

En el distrito de San Mateo, se localizan los poblados de San Mateo Agua Agria, Calera, Centeno, Desamparados, Dulce Nombre, Higuito, Izarco, Maderal, Ramadas, San Juan de Dios.

En distrito Desmonte, se encuentra los poblados de Desmonte, Cuesta Colorada, Libertad, Quebrada Honda, Sacra Familia, y Zapote.

Finalmente, en Jesús María se encuentra el poblado que lleva su mismo nombre.

Para efectos de estudio, en el 2015 se registró un cociente de densidad poblacional con un valor de 54,44 habitantes por (INEC, 2018).

## Ilustración Distritos del Cantón de San Mateo, de la Provincia Alajuela



Fuente: Mapas de Costa Rica página Web

### 2.1.3 Clima del pueblo de San Mateo

El distrito de San Mateo tiene una superficie de 64,89 km<sup>2</sup> y tiene una población de 3.033. La ciudad se encuentra a una altura de 264 metros sobre el nivel del mar en las tierras bajas cercanas a la costa central del Pacífico.

La temperatura promedio en el cantón de San Mateo, mediante un histograma de temperaturas y cantidad de lluvias promedio registradas en el cantón:

#### Ilustración Clima San Mateo

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26.1	26.5	27.6	27.6	26.5	25.5	25.3	25.5	25.4	25	25.1	25.3
Temperatura mín. (°C)	20.4	20.6	21.6	22	21.6	20.8	20.6	20.6	20.6	20.4	20.5	20.1
Temperatura máx. (°C)	31.9	32.5	33.7	33.3	31.5	30.2	30	30.4	30.2	29.7	29.7	30.5
Temperatura media (°F)	79.0	79.7	81.7	81.7	79.7	77.9	77.5	77.9	77.7	77.0	77.2	77.5
Temperatura mín. (°F)	68.7	69.1	70.9	71.6	70.9	69.4	69.1	69.1	69.1	68.7	68.9	68.2
Temperatura máx. (°F)	89.4	90.5	92.7	91.9	88.7	86.4	86.0	86.7	86.4	85.5	85.5	86.9
Precipitación (mm)	8	15	17	89	351	361	313	361	419	462	197	36

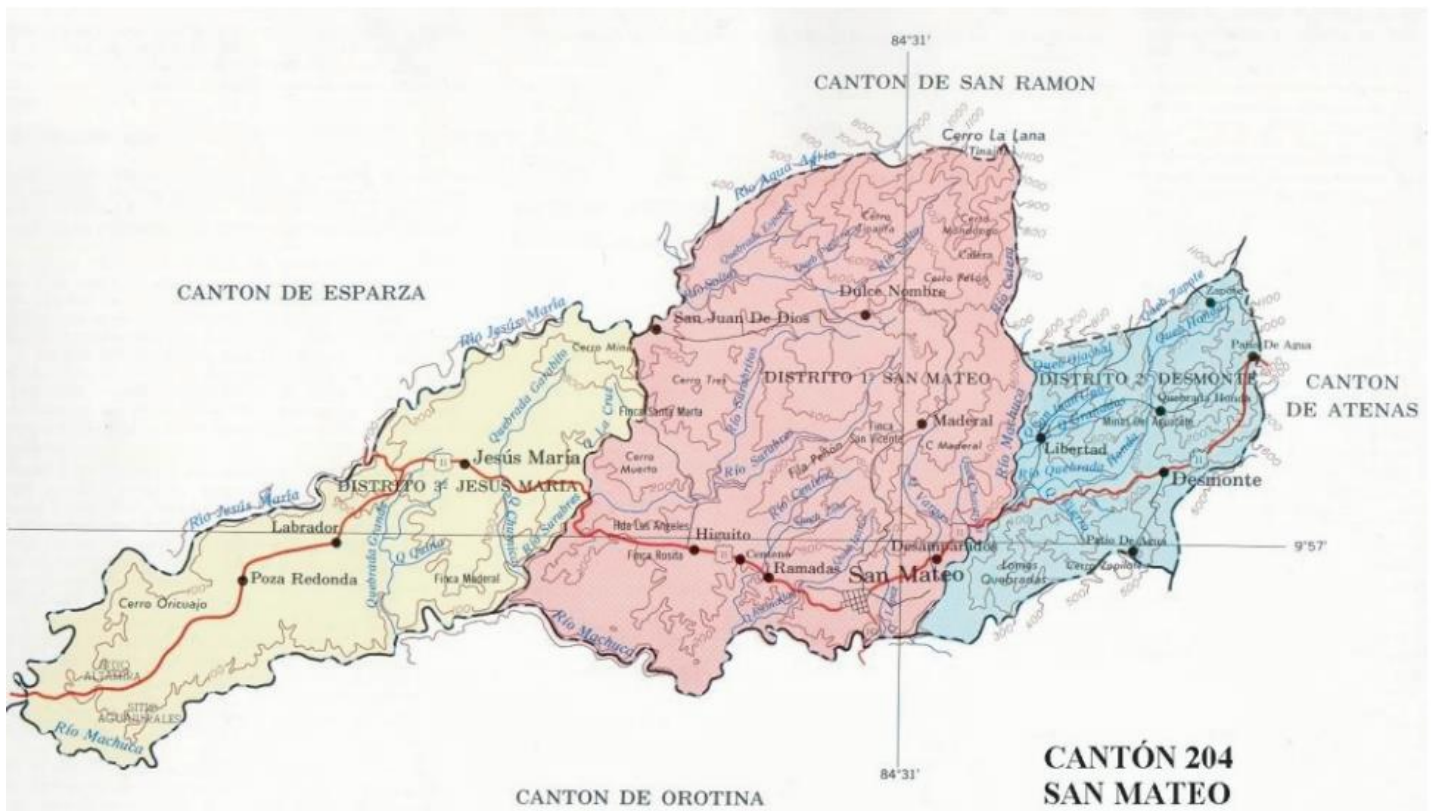
Fuente: Datos del Cantón de San Mateo Página Web

### 2.1.4 Hidrografía del cantón de San Mateo

El sistema fluvial del cantón de San Mateo corresponde a la vertiente del Pacífico, el cual pertenece a las cuencas de los ríos Jesús María y Grande de Tárcoles.

La primera es drenada por el río Jesús María, con sus desembocaduras de los ríos Machuca, Salto y Agría; al Machuca se les unen los ríos Surubres Centeno, quebrada Honda y las quebradas Pital, Vargas y Calera. Estos cursos de agua nacen en el cantón de San Mateo, excepto Jesús María; los cuales presentan un rumbo en todas las direcciones. Los ríos Jesús María, Agría y Machuca y las quebradas Pital y Calera son límites cantonales, el primero con Esparza de la provincia de Puntarenas, el segundo y la quebrada Calera con San Ramón; y los otros con Orotina.

#### Ilustración Mapas de ríos de San Mateo



Fuente: Mapas de Costa Rica Pagina Web

### **2.1.5 Geología de Cantón de San Mateo**

Geológicamente el cantón de San Mateo posee materiales de los períodos Terciario y Cuaternario; siendo las rocas volcánicas donde el Terciario es el que predomina en la región, está constituida por areniscas finas. Los materiales del período Cuaternario se localizan rocas de origen sedimentario, Fluviales (depósitos de los ríos) y Coluviales (granos finos de limo y arenas) y, localizados en las cercanías de la confluencia de los ríos Machuca y Jesús María.

### **2.1.6 Acueducto del cantón de San Mateo**

Este acueducto fue administrado por la Municipalidad de San Mateo aproximadamente hasta el 30 de junio del año 1991, siendo así entregado para su administración al A y A de la zona, como alimentación de agua potable iniciando el 01 de julio del año 1991, abasteciendo así a los lugares de San Mateo e Higuito, con un caudal de 18 litros por segundo, donde se persigue crear una proyección de entrega del agua a 30 litros por segundo. Estas aguas son canalizadas y almacenadas en la planta de tratamiento sita en la zona de Desamparados de San Mateo; caudales que se obtienen del río Machuca y en la temporada de invierno se toma de la Quebrada Mora, ubicada en el mismo sitio, para luego ser distribuidas a los habitantes, por medio de una red de tuberías a sus diferentes casas o comercios. En el cuadro que se presenta a continuación se muestra la distribución de las tuberías de agua potable de San Mateo.

### Ilustración Sistema Alcantarillado Acueducto de San Mateo



Fuente: (Entrevista Torres, Fabio, funcionario A y A, San Mateo)

**Tabla tarifaria General por el AyA por metro Cubico (m3)**

Bloque Consumo	Domiciliar	Empresarial
81 a 100 m3	¢1.964,00	¢1.964,00
101 a 120 m3	¢1.964,00	¢1.964,00
Más de 120m3	¢2.063,00	¢2.063,00
Tarifa Fija	¢11.211,00	¢38.048,00

Fuente: tomado del A y A

## 2.2 Conceptos básicos.

Para la mejor comprensión de los avances y resultados de este proyecto, se hace referencia a algunos conceptos básicos que son relevantes para la contextualización e interpretación del mismo.

### 2.2.1 Definiciones de área rural y área urbana.

- **Área rural:** Es el espacio territorial de ámbito no urbano, perteneciente o relativo a la vida en el campo y las labores relacionadas. El uso del suelo predominante es para actividades agrícolas, agroindustriales, agropecuarias o de conservación, y sus instalaciones básicas relacionadas. Puede presentar residencias en poblaciones dispersas y núcleos de población cuyo desarrollo urbano no califica como centros de población, así como desarrollo de instalaciones con fines turísticos (CFIA, 2016).
- **Área urbana:** Es el ámbito territorial de desenvolvimiento de un centro de población. El área urbana conforma un conglomerado de zonas de uso adyacentes y conectadas entre sí, que incluyen elementos tales como edificios y estructuras, actividades industriales, comerciales, residenciales, servicios públicos, actividades agrícolas o agroindustriales de tipo urbano y cualquier otro que se le relacione directamente con dichos elementos (CFIA, 2016).
- **Desarrollador:** Es la persona física o jurídica, pública o privada, que legalmente está facultada para llevar a cabo la actividad, obra o proyecto y quien funge como proponente de la misma ante la SETENA y tiene interés directo en llevarla a cabo. Es asimismo quien asumirá los compromisos ambientales y será el responsable directo de su cumplimiento (CFIA, 2016).

### 2.2.2 Aguas residuales.

Según el Decreto Ejecutivo 33601-MINAE-S. Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Establece los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el vertido y reúso de aguas residuales de las diferentes actividades comerciales, industriales y de servicios existentes en el país. Por consiguiente, todo ente generador de aguas residuales deberá darle un tratamiento ajustado a lo dispuesto en este reglamento. La revisión de los mencionados límites máximos la realiza el Comité Técnico interinstitucional y multidisciplinario creado en este reglamento, con base en los resultados consignados en los reportes operacionales entregados por los diferentes entes generadores. A la fecha han sido introducidas tres modificaciones a estos límites, buscando establecer valores, cada vez más rigurosos y alcanzables, de tipo técnico y económico. Originados en vertimientos puntuales. (Minae, 2016)

Las aguas residuales, según su origen se clasifican en (Valverde Marín, 2012, págs. 5-6):

**Aguas residuales domésticas**, proceden de zonas residenciales, así como zonas comerciales y públicas. Proviene de inodoros, lavaderos, cocinas, baños y presentan materias fecales, jabón, papel, restos de alimento, entre otros. Algunos residuos se mantienen en suspensión, entran en solución o se vuelven coloides.

**Aguas residuales industriales**, proceden de procesos industriales o manufactureros, su composición depende del tipo de proceso industrial que se lleve a cabo, sin embargo, normalmente estas aguas poseen elementos tóxicos como plomo, mercurio, níquel, cobre, los cuales deben ser removidos antes de ser vertidos al alcantarillado sanitario.

**Aguas de lluvia**, provienen de la precipitación y de la escorrentía superficial. Cuenta con sólidos suspendidos, hidrocarburos y agroquímicos. Estas pueden transportar sólidos, químicos, desechos.

**Las infiltraciones** es agua que penetra por medio de juntas defectuosas, fracturas grietas del alcantarillado, fisuras, perforaciones, desperfectos.

### **2.2.3 Contaminantes en aguas residuales.**

En las aguas residuales se puede encontrar sólidos en suspensión, lo que puede crear depósitos de fango y condiciones anaeróbicas. También materia orgánica biodegradable, que puede agotar el oxígeno en los recursos naturales y desarrollar condiciones sépticas, los residuos patógenos, que transmiten enfermedades contagiosas, y los nutrientes, que pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada y contaminar aguas subterráneas (Valverde Marín, 2012, pág. 5).

## **CARACTERÍSTICAS Y CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

Las aguas residuales están formadas aproximadamente por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y en solución. Los sólidos en suspensión pueden tratarse de trapos, compresas, papeles.

Los sólidos que están diluidos en el agua pueden tratarse de residuos orgánicos como celulosa, grasas, jabones, o de residuos inorgánicos como nitrógeno, fósforo, sulfatos, Sólidos inorgánicos que son sustancias tóxicas, como arsénico, mercurio, cromo, cadmio, plomo y zinc. Es importante el tratamiento y la depuración de las aguas residuales por dos motivos principales. Sin un tratamiento, estos irían directamente a los ríos o al mar. Con un tratamiento se haría la eliminación de todos los sólidos encontrados en el agua, desde separar y gestionar, como son los trapos, compresas, hasta los componentes más peligrosos como el cromo o el mercurio. También se haría la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano, que se encuentran en la materia fecal, como son los coliformes, y las salmonellas. (Recytrans, 2013)

Para conocer el tipo de contaminación es necesario llevar a cabo una caracterización del agua residual, la cual proporciona una amplia variedad de información sobre el tipo y la concentración de los contaminantes. Los parámetros que deberán ser analizados, a parte de los generales como pH y conductividad, serán los que den idea del contenido de materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y

fósforo), sólidos en suspensión, alguno relacionado con la toxicidad de las aguas residuales en relación a los microorganismos, además de los más específicos y relacionados con el tipo de actividad que genera el efluente (metales, tensioactivos, sulfatos, cianuros, etc.). (Tuset, 2000)

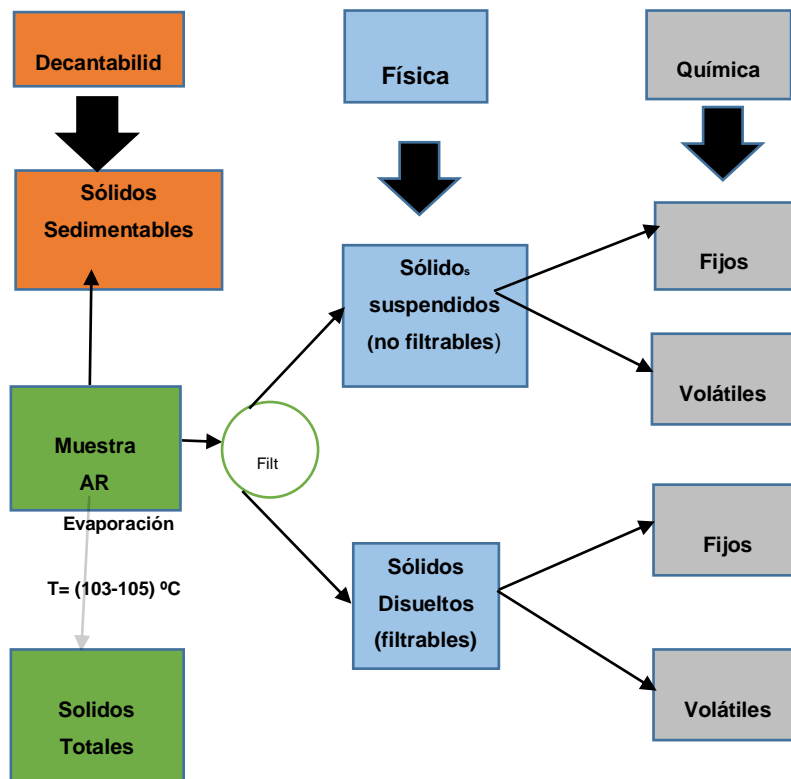
## 2.3 Características Físicas

### 2.3.1 Sólidos Totales

Todos los parámetros que caracterizan las aguas residuales (materia orgánica), son una manifestación directa o indirecta de la cantidad de sólidos presentes. Estos constituyentes se clasifican en subcategorías que se definen por sus características físicas, químicas y biológicas.

Las principales diferencias entre las subcategorías en las que se clasifican estas impurezas son:

#### Ilustración Característica sólidos y su clasificación



Fuente: Propia, autores

**La decantabilidad** es un método físico para utilizar la separación de mezclas heterogéneas, que son de sólido a líquido o de líquido a líquido de diferente densidad (de dos líquidos que no puede ser mezclados), es muy importante para los tratamientos de las aguas residuales.

### **2.3.2 Los sólidos disueltos, y sólidos suspendidos**

Sus características químicas se determinan al someter a los sólidos filtrables como los no filtrables, a altas temperaturas ( $550^{\circ}\text{C}\pm 50$ ). La fracción de sólidos volátiles desaparece producto de la combustión, y se asocian a materia orgánica. Los fijos o permanentes se asocian al contenido de materia inorgánica. (Corrales Chacón, 2011)

#### **2.3.2.1 B) Temperatura**

La temperatura es importante para el control operacional de los sistemas ya que este tiene influencia directa sobre las reacciones químicas y biológicas que suceden dentro de las diferentes unidades de tratamiento. Una crecida de la temperatura produce:

- Incrementos en tasa de degradación de los constituyentes químicos y biológicos.
- Disminución en la concentración de oxígeno disuelto (OD) (insolubilidad de gases que afecta la operación de los tratamientos aeróbicos).
- Posible generación de malos olores debido a un aumento en la tasa de transferencia de gases del medio húmedo hacia la atmosfera.

Es normal que las aguas residuales presenten temperaturas mayores a la del aire, situación que se da producto de la realización de las diversas actividades doméstica. (Corrales Chacón, 2011)

### **2.3.2.2 C) Color**

La coloración de las aguas residuales se debe a la presencia de materia orgánica (Vidal, 2010), Citado por (Corrales Chacón, 2011). Este parámetro se puede utilizarse de forma cualitativa para estimar la condición general del agua (Tchobanoglous, 2000), Citado por (Corrales Chacón, 2011) ya que colores claros (gris, café claro) indican que el agua residual es “fresca” y su grado de descomposición es bajo, mientras que aguas con colores oscuros (gris oscuro o negro) indican una fuerte degradación (condiciones sépticas debido a la ausencia de Oxígeno Disuelto (OD). Cuantitativamente el valor de este parámetro se mide en Unidades Hansen (uH).

### **2.3.2.3 D) Turbiedad**

Es el grado de transparencia que pierde el agua, esto provoca la dificultad del líquido para poder transmitir luz y este se da por la cantidad materiales suspendidos en el agua, por lo que es proporcional a la contaminación que tiene el agua. Esta medida es utilizada para determinar la calidad del efluente. (Armando Mata D’Avanzo, 2018)

### **2.3.2.4 E) Olor**

El olor proviene según de los contaminantes que constituyen el agua residual, también se generan debido a que los procesos de descomposición de la materia orgánica, los cuales liberan gases. (Armando Mata D’Avanzo, 2018)

## 2.4 Características Químicas

### 2.4.1 Materia Orgánica

La materia orgánica presente en el agua residual es el parámetro de mayor importancia en la caracterización de las aguas residuales domésticas. La contaminación y degradación de las aguas se deben a que las bacterias y microorganismos que consumen el Oxígeno Disuelto (OD), como parte del proceso metabólico que se lleva a cabo para procesar la materia contaminante y estabilizarla. Los compuestos característicos de la materia orgánica de las aguas ordinarias son: proteínas, carbohidratos, grasas y nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo.

Los métodos para cuantificar la cantidad de materia orgánica presente son:

- a) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5,20°C</sub>)
- b) Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- c) Demanda Carbonácea Total (COT)

Tanto el Método (a) como el (b) corresponden a técnicas de cuantificación indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, ya que se basan en la demanda de oxígeno que resulta de los procesos de estabilización, tanto por medios biológicos como químicos.

La relación entre los resultados de DBO<sub>5</sub> y DQO sirve como parámetro guía que ayuda a seleccionar el tipo de proceso que se recomienda para tratar el agua residual cruda. Para aguas residuales domésticas los valores de esta relación oscilan entre 0,3 y 0,8. Para cuando  $DBO_5/DQO > 0,5$  la mayoría de los constituyentes del agua residual son biodegradables, por lo que se recomienda sistemas de degradación basados en procesos biológicos. En contra parte, se recomienda el uso de sistemas de tratamiento basado en procesos físico químicos

si la relación es inferior a 0,3 (Tchobanoglous, 2000). Citado por (Corrales Chacón, 2011)

El parámetro COT determina de forma directa esta cantidad, sin embargo, actualmente la mayoría de los procedimientos de dimensionamiento se encuentran expresados en términos de los parámetros de DBO y DQO por ello se prefiere la utilización de los valores dados por ambos métodos. (Corrales Chacón, 2011)

#### **2.4.2 Demanda Bioquímica de oxígeno DBO**

Para entender los conceptos de DBO<sub>5</sub> y DQO, hace falta definir qué es exactamente la materia oxidable biológicamente. Las aguas residuales contienen una parte de material de tipo orgánico que absorbe, de forma natural, cierta cantidad de oxígeno hasta su total mineralización (proceso de descomposición de la materia orgánica en sus constituyentes minerales) debido a los procesos de oxidación que se producen en el agua. Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la oxidación por vía biológica de la materia orgánica biodegradable presente en ella en unas determinadas condiciones de ensayo (20°C, presión atmosférica, oscuridad y muestra diluida con agua pura manteniendo condiciones aerobias durante la prueba) en un tiempo dado. Refleja la materia orgánica que existe en el agua, indicando el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos y las reacciones químicas. Lo que le sucedería a un volumen de agua, que discurre dentro de una corriente de agua, en régimen laminar, con una temperatura de 20°C, donde el oxígeno es consumido por reacciones de oxidación y acción microbiana puede verse en las curvas de temperaturas, cuyos ejes de abscisas (x) es el tiempo y el de ordenadas (y) la DBO (las curvas de la izquierda son las de mayor temperatura). Es destacable que a partir de un cierto tiempo la curva, que parecía tender en una primera etapa (línea continua) hacia un valor asintótico, varía de repente elevando su valor en segunda etapa (línea discontinua). La primera se debe a la demanda del ciclo del carbono y la segunda corresponde al ciclo del nitrógeno. La primera etapa de la oxidación biológica de la materia orgánica, en la que se

produce la descomposición de los compuestos del carbono, se inicia inmediatamente una temperatura de 20°C para concluir a los 20 días. La segunda etapa en la que se produce la descomposición de los compuestos nitrogenados, se inicia al cabo de algunos días (con 20°C a los 10-15 días). En la determinación de la DBO influye la presión, pero su variación no es importante. Para el control de la autodepuración natural o para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días y a 20°C (DBO5) cuyo valor se aproxima suficientemente al valor asintótico de la correspondiente al ciclo del carbono. (Eugenio Ruiz Sancho, 2016).

### **2.4.3 Demanda Química de oxígeno DQO**

Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación por vía química, provocada por un químico fuertemente oxidante. Dicho de otra forma, la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. La relación encontrada entre la DBO5 y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales dentro del agua residual analizada y sus posibilidades de biodegradabilidad, lo que ayuda a elegir el tipo de tratamiento a realizar al agua. Unos valores indicativos serían: (Eugenio Ruiz Sancho, 2016)

- ✓  $DQO/DBO5 = 1,5$  ---> Materia orgánica muy degradable
- ✓  $DQO/DBO5 = 2,0$  ---> Materia orgánica moderadamente degradable
- ✓  $DQO/DBO5 = 10$  ---> Materia orgánica poco degradable

#### **2.4.3.1 pH**

Este parámetro indica el grado de acidez ( $pH < 7$ ), neutralidad ( $pH = 7$ ) o alcalinidad ( $pH > 7$ ) que caracteriza a un agua residual en función de la concentración de iones de Hidrogeno ( $H^+$ ). Es importante para verificar el adecuado funcionamiento de los sistemas de depuración biológica. Normalmente el agua residual es alcalina, esta propiedad la adquiere gracias a las aguas de abastecimiento, aguas subterráneas

y materiales utilizados para domésticas (Tchobanoglous, 2000) Citado por (Corrales Chacón, 2011).

El intervalo adecuado de pH para permitir la existencia de la mayor parte de vida biológica es estrecho, en general los valores de este parámetro no deben de ser inferiores a 5 ni mayores a 9. Antes de que el efluente de sistema de tratamiento sea vertido al cuerpo receptor es importante ajustar el pH para no afectar las condiciones naturales del cuerpo receptor. (Corrales Chacón, 2011).

#### **2.4.3.2 Nutrientes**

Estos son elementos necesarios en la digestión microbiológica, de aquí los microorganismos obtienen la energía necesaria para consumir oxígeno y realizar las tareas de estabilización de la materia orgánica. Los nutrientes más comunes en el agua residual son el nitrógeno y el fósforo (von Sperlin, 1996). Citado por (Corrales Chacón, 2011)

Elevadas concentraciones de nutrientes en los cuerpos receptores pueden causar problemas de eutrofización, especialmente en lagos y estanques ya que las algas utilizan este compuesto para la síntesis de proteínas.

#### **2.4.3.3 Nitrógeno**

Los compuestos de nitrógeno tienen gran importancia en los procesos vitales de plantas y animales; este elemento puede tomar diferentes estados de oxidación que pueden ser inducidos por organismos vivos, en particular por bacterias; estos cambios pueden ser positivos o negativos dependiendo de que las condiciones predominantes sean aeróbicas o anaeróbicas (Sawyer, 2001). Citado por (Meneses, 2010)

El nitrógeno puede existir en varios estados de oxidación; en los sistemas acuáticos predominan unos pocos de estos, que son de gran importancia en cuanto a la calidad del agua se refiere; estos son:

### **NH<sup>3</sup>-N<sup>2</sup>-N<sup>2</sup>O<sup>3</sup>-N<sup>2</sup>O<sup>5</sup>**

El contenido de Nitrógeno en el agua es utilizado como indicador del tiempo en que esta fue contaminada. Aguas con contaminación reciente presentan la mayor parte del nitrógeno como nitrógeno orgánico (proteínas) y amoniaco. Al pasar el tiempo, el nitrógeno orgánico se convierte gradualmente en nitrógeno amoniacal y, posteriormente, si existen condiciones aeróbicas, ocurre la oxidación del amoniaco a nitritos y nitratos. Por lo tanto, aguas con contenidos principalmente de nitrógeno amoniacal y orgánico se sabe que han sido contaminadas recientemente y, por tanto, presentan un alto potencial de peligro; en cambio, las aguas en que la mayor parte de nitrógeno se encuentra como nitratos habrían sido contaminadas con mucha anterioridad y, por ende, representan poco riesgo para la salud pública. Además, se ha demostrado que las aguas potables con altos contenidos de nitratos usualmente causan metahemoglobinemia en niños (Sawyer, 2001). Citado por (Meneses, 2010) Estas pruebas no generan un resultado real de la cantidad de contaminación del agua; sin embargo, sirve como una idea preliminar. Si se desea una cuantificación real de la cantidad de contaminante, se requiere hacer pruebas bacteriológicas de organismos coliformes.

La cantidad de nitrógeno permisible en el agua se encuentra regulada en el Reglamento de vertido, como nitrógeno total, y no debe ser superior a 50 mg/l, ya sea si se vierte en alcantarillado sanitario o cuerpo receptor.

#### **2.4.3.4 Fósforo**

Al igual que el nitrógeno, el fósforo es un nutriente importante para que los microorganismos obtengan energía para la síntesis y degradación de la materia orgánica. Existen tres Formas en las cuales se puede encontrar estos elementos: fósforo, ortofosfatos y los polifosfatos.

Esto quiere decir que el fósforo y los polifosfatos requieren ser reducidos a formas más simples (ortofosfatos) para ser utilizados como nutrientes durante el proceso metabólico de los microorganismos. (Corrales Chacón, 2011)

## 2.5 Características biológicas

La caracterización biológica de las aguas residuales (tipo de microorganismos) es importante, por dos motivos:

- 1) Son las responsables de la estabilización de la materia orgánica, por lo cual el desempeño de los sistemas de tratamiento dependerá de la cantidad de microorganismos presentes en el agua residual.
- 2) Microorganismos como los microbios, bacterias y virus son los responsables de las enfermedades de transmisión hídrica.

El contenido de organismos patógenos se puede determinar de forma indirecta por medio de los llamados organismos indicadores de contaminación fecal. Las bacterias utilizadas como indicadores son las que pertenecen al grupo de los coliformes. Existen numerosas ventajas en la utilización de organismos indicadores de contaminación fecal, una de ellas es la facilidad de cuantificar la cantidad de organismos presentes mediante pruebas de laboratorio, debido a que la concentración de coliformes es mayor en comparación con la concentración de los organismos patógenos antes mencionados. Es importante recordar que las características y la concentración de constituyentes de las aguas residuales varían en función de su procedencia. En resumen, de los principales constituyentes, su clasificación por características y una medida cualitativa de la cantidad de cada parámetro: Principales agentes contaminantes y sus parámetros de calidad.

Constituyentes	Parámetros	Indicadores Mucho(+) Variable (±)	
		Domésticas	Industriales
Sólidos	Sólidos Suspendidos Totales (SST)	+++	±
Materia orgánica	DBO, OD,DQO,COT	+++	±
Nutrientes	Nitrógeno , Fósforo	+++	±
Organismos patógenos	Coliformes	+++	±
Materia orgánica no biodeg	Agroquímicos, Detergentes	-	±
Contaminantes inorgánicos	Elem. Esp.(As,Cd,Cu,Hg,Ag)	-	±

Fuente: (Von Sperlin, 1996), Citado por (Corrales Chacón, 2011)

## 2.6 Tipos de alcantarillado

Según los requerimientos del proyecto, puede presentar dos sistemas de alcantarillados (López Cualla, 2010, págs. 342-343), el más común es el alcantarillado convencional separado, el cual se subdivide en:

**Alcantarillado sanitario:** Es el que recolecta exclusivamente las aguas residuales domésticas e industriales.

**Alcantarillado pluvial:** Es el que evacua la escorrentía superficial producida por las precipitaciones.

**El alcantarillado convencional combinado**, se caracteriza por el paso simultáneo tanto de las aguas residuales y las precipitadas.

El segundo sistema es el alcantarillado no convencional, el cual presenta 3 variables:

**Alcantarillado simplificado:** es similar al convencional, pero con la diferencia de que sus diámetros pueden variar para facilitar su administración y mantenimiento.

**Alcantarillados condominales:** Conducen las aguas residuales de un pequeño grupo de viviendas a un sistema convencional.

**Alcantarillados sin arrastre de sólidos:** o alcantarillados de presión, ya que elimina los efluentes de la vivienda por medio de un tanque interceptor. Luego viaja por tuberías de diámetro pequeño a la planta de tratamiento

## 2.7 Clasificación de las tuberías.

En cuanto a las tuberías, se les puede clasificar por sus funciones en (López Cualla, 2010, pág. 343):

**Laterales o iniciales:** Reciben desagües directo de los domicilios.

**Secundarias:** Reciben el caudal de 2 o más tuberías iniciales.

**Red terciaria o red general:** Corresponde a las líneas de tubería que conectan la red pública a la red privada (AYA, 2017, pág. 27).

**Colector secundario:** Recibe el desagüe de dos o más tuberías secundarias.

**Colector primario:** Capta el caudal de dos o más colectores secundarios.

**Emisario final:** Conduce todo el caudal de aguas residuales o lluvias a su punto de entrega, ya sea laguna de oxidación, planta, o destino final.

Las redes se pueden distribuir según los requerimientos y cualidades de la zona de acción, formando diversas configuraciones de sistemas (Comisión Nacional del Agua, 2009).

En cuanto a los caudales, se pueden medir según naturaleza, ya sea en caudal de aguas servidas, de infiltración o de lluvias ilícitas (Aldás Castro, 2011, págs. 25-28).

El caudal de aguas servidas se puede clasificar en caudal medio final, el cual sirve de referencia para el dimensionamiento de estaciones de bombeo o plantas de tratamiento, y el caudal máximo instantáneo final, que se obtiene multiplicando el caudal medio diario al final del período de diseño, por un coeficiente de mayoración, que toma en cuenta el aporte simultáneo de aguas servidas desde los aparatos sanitarios.

El caudal de infiltración se presenta cuando hay uniones mal confeccionadas, paredes fisuradas o agrietadas, o cuando el nivel freático alcanza estos elementos. Finalmente, la tercera categoría de los caudales, corresponde al de aguas lluvias ilícitas, que corresponde a las precipitaciones que ingresan por conexiones prohibidas en patios, jardineras, cubiertas, o incluso tapas o registros (Aldás Castro, 2011, págs. 25-28).

## **2.8 Capacidad del sistema.**

La Norma Técnica para “Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial”, establece los siguientes criterios para definir la capacidad del sistema (AYA, 2017, pág. 29).

El sistema debe diseñarse para aguas residuales de tipo ordinario, considerando además los aportes por infiltración y aguas residuales tratadas de tipo especial, que cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales vigente; este sistema debe diseñarse separado del sistema de recolección y disposición de aguas pluviales.

El punto de conexión con el sistema público debe ser definido por el ente operador de previo a la presentación del diseño ante el AyA. El sistema propuesto debe permitir que las aguas residuales converjan en un punto único a un pozo de registro a construir o existente de un subcolector o colector existente o a construir.

Aquellos proyectos que sean conceptualizados por etapas y que éstas conformen un solo sistema, deben contemplarse dentro de un diseño integral, con sus respectivos cálculos; el proyecto así concebido debe mostrar la integración de todas las etapas del sistema.

## **2.9 Tratamiento del agua residual.**

La Norma Técnica para “Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial”, establece los siguientes criterios para el tratamiento de agua residual. (AYA, 2017, págs. 45-46).

Los sistemas de tratamiento deben cumplir con el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, ambos en su versión vigente y emitidos por el Ministerio de Salud y MINAE; así como con toda la normativa nacional aplicable a la calidad del agua residual, independientemente del proceso de tratamiento utilizado, ello incluye la disposición final al cuerpo receptor o al sistema público de recolección de aguas residuales.

Adicionalmente, en relación con los componentes físicos contemplados en el diseño de la planta de tratamiento de agua residual, particularmente los que forman parte de: cámara de entrada, unidades de tratamiento primario, unidades de tratamiento secundario, unidades de tratamiento terciario y cámara de salida.

Los efluentes provenientes de plantas de tratamiento que tratan aguas residuales producto de actividades industriales y que se conduzcan hacia un sistema público de recolección, deben conectarse a la red mediante un pozo de registro y deben cumplir con los requerimientos establecidos para la interconexión de redes de alcantarillado establecidos por los entes competentes.

Si el proyecto se ubica en una zona en donde el efluente no pueda ser trasegado hacia un sistema público de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales, las aguas residuales deben conducirse hacia un cuerpo receptor previo cumplimiento del Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales vigente, en lo correspondiente.

El o los puntos que constituyan la descarga final del efluente, debe cumplir con todas las disposiciones establecidas por Ministerio de Salud según la normativa o legislación aplicable.

La entrega de las aguas del efluente a un cuerpo receptor debe tomar en cuenta el nivel máximo probable de avenidas, con el objetivo de no obstaculizar la incorporación del efluente; la descarga debe realizarse a un ángulo igual o inferior a 45° en la dirección del flujo del cuerpo receptor, no se acepta la descarga perpendicular al mismo.

## **REQUISITOS ESPECÍFICOS PARA COMPONENTES FÍSICOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Con respecto a los requisitos, a continuación, se enumera la lista de requerimientos:

- A. El sistema de bombeo para llevar las aguas residuales crudas a la planta de tratamiento o el sistema de impulsión del efluente a disposición final debe incluir un equipo alternativo de generación eléctrica de encendido automático que brinde el suministro eléctrico en el momento en que falle el servicio público respectivo, de tal manera que se garantice el funcionamiento continuo de los componentes que así lo requieran. En caso de requerirse almacenamiento de combustible, se debe cumplir en lo correspondiente con el Reglamento para la Regulación del Sistema de Almacenamiento y Comercialización de Hidrocarburos vigente.
- B. Toda cubierta sobre las unidades de tratamiento de sistemas aerobios, en especial en proyectos de urbanizaciones y conjuntos residenciales, debe ser removible en su totalidad y debe incluir los dispositivos o sistemas de izaje cuando su manipulación no pueda ser realizada por una sola persona; lo

anterior, a efecto de permitir la ejecución de actividades de mantenimiento y de operación.

- C. Todo tanque elevado o semienterrado sin cubierta debe incorporar pasarelas de al menos un metro de ancho, con baranda lateral alrededor de cada tanque y sobre las paredes compartidas por dos o más estructuras. Se excluyen de este requisito los sistemas de lagunas.
  
- D. Todo sistema lagunar debe incorporar en su diseño el ingreso y salida del agua residual en cada unidad garantizando una distribución uniforme, se acepta el uso de cajas de distribución de caudal. El número de entradas de agua residual cruda debe de ser igual al número de salidas del caudal tratado.
  
- E. Si la disposición final del efluente es por vertido a un cuerpo receptor, los detalles técnicos de planta y perfil de la tubería del emisario del efluente de aguas tratadas hasta el cabezal de desfogue, deben estar incluidos en los planos y cumplir con los requisitos técnicos aplicables a estas tuberías establecidas.
  
- F. Los elementos metálicos que se incorporen a la planta de tratamiento deben fabricarse con materiales anticorrosivos, cuando se requiera aplicar pintura a esos elementos se debe utilizar pintura epóxica a dos capas. En los planos se deben indicar los códigos de las normas de fabricación que especifican la característica anticorrosiva de los materiales metálicos y el epoxi de la pintura.
  
- G. No se permite la infiltración de aguas de nivel freático en las tuberías del sistema de tratamiento.
  
- H. Se debe incluir una cámara o dispositivo de medición de caudal a la entrada y salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, de forma que se permita la medición real según el flujo definido. La cámara o dispositivo de medición de caudal no debe contar con interferencia de otros flujos de agua

presentes en la planta de tratamiento. En caso de vertedero triangular, el ángulo debe calcularse según el caudal del sistema.

- I. La cámara de rejillas debe incluir al menos dos juegos de rejillas con inclinación entre 45° y 60°, una para sólidos gruesos, otra para sólidos más finos, ambos con bandeja para deshidratación de sólidos.
- J. El desarenador debe incluir como mínimo doble cámara para facilitar el mantenimiento y limpieza de la estructura.
- K. El diseño debe incluir dos módulos como mínimo, para el acondicionamiento y deshidratación de lodos residuales, que permitan satisfacer de forma complementaria o en su conjunto la capacidad requerida según parámetros de diseño.
- L. La planta debe contar con un sistema de recolección y acondicionamiento de los gases que se generen en cada unidad de tratamiento anaerobio, de forma previa a su emisión a la atmósfera.
- M. La planta debe contar con tolvas de fondo con una pendiente mínima de 45 grados, se acepta que el diseño incluya mecanismos de barrido de lodos.
- N. El cabezal de desfogue de la tubería del efluente debe ubicarse sobre el nivel del agua del cuerpo receptor.
- O. Su diseño debe considerar entre otros aspectos los niveles de estiaje y de época lluviosa. Debe contar con oletones de alta resistencia a la abrasión y erosión. La descarga no debe ser contraria a la dirección del flujo, se debe prever que por efecto de la descarga no se generen alteraciones en la margen opuesta al punto de descarga.
- P. El diseño debe incluir cámaras para muestreo de aguas residuales a la salida de la planta de tratamiento, para cada uno de los módulos o trenes de tratamiento y para la reunión de los efluentes de cada uno de estos.
- Q. Los caminos de acceso a la planta de tratamiento deben contar con una estructura de pavimento y obras viales complementarias, de conformidad con lo establecido en el Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes (CR-2010) vigente, emitido

por el MOPT. El diseño y el perfil topográfico del camino debe garantizar el ingreso de cualquier tipo de vehículo para el transporte de personas o bienes y sin distinción de carga.

- R. El diseño debe incluir un sistema de iluminación para exteriores, distribuido homogéneamente y con la intensidad requerida para iluminar desde la planta hacia todo el perímetro de la propiedad que la contiene, permitiendo una iluminación general de al menos 100 lux. El sistema de iluminación en general debe garantizar un grado mayor de agudeza visual con iluminación localizada de al menos 300 lux, en las diferentes áreas donde se llevan a cabo los procesos que requieren de la ejecución de actividades en horario nocturno. El sistema de iluminación debe diseñarse considerando las particularidades de todos los procesos y actividades definidas en el manual de operación, mantenimiento y control.
- S. Adicionalmente, se debe cumplir con la normativa nacional en materia de eficiencia energética.
- T. El diseño de la planta debe incorporar al menos dos dispositivos de suministro de agua; uno ubicado cerca de la cámara de rejillas y el otro en el extremo opuesto a la zona de ingreso a la planta; lo anterior para facilitar las actividades de limpieza de las estructuras.
- U. El sistema de tuberías internas de la planta, excluyendo la tubería enterrada, debe cumplir con la “Norma oficial para la utilización de colores de seguridad y su simbología” vigente, emitida por el MEIC (Decreto N° 12715). Se acepta aplicar lo establecido en la norma INTE 31-07-03 “Código de colores para la identificación de los sistemas de tuberías acorde al fluido que conducen”, siempre que no sea contrario a lo establecido en la norma del MEIC. Se debe indicar la dirección del flujo en las tuberías y estas también debe cumplir con los requisitos de rotulado contenido en las normas técnicas de fabricación de la misma.

## MARCO JURÍDICO (NORMAS INTERNACIONALES Y LEGISLACIÓN SOBRE AGUA RESIDUALES)

### 2.10 Normas Nacionales.

En Costa Rica, declarado internacionalmente como uno de los países más preocupados por el buen funcionamiento de doctrinas medioambientales, se han desarrollado una serie de normas y decretos que afectan el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esto, por consiguiente, disparará los estándares de cuidado ambiental y la preservación de mantos acuíferos que puedan verse perjudicados por un mal tratamiento en tierra, así como de las muchas especies que enriquecen nuestros litorales y dependen de nuestra responsabilidad para con el ambiente de llevar una vida saludable. Así mismo, todos sabemos que incluso nosotros, la principal especie contaminante del mundo, estamos constituidos por un 70% de agua y requerimos de ella no solo para solventar una necesidad fisiológica, sino para elaborar adecuadamente todas nuestras necesidades cotidianas. Un buen tratamiento de las aguas contaminadas, nos beneficia a todos, y es por eso que Costa Rica ha creado una serie de regulaciones legales de carácter nacional, con un trasfondo de cooperativa externa con otros países de la región que se involucran en solventar dichas necesidades. El diseño de plantas de tratamiento en general, deberá de cumplir una serie de reglamentos que se establecen previamente gracias a los Comités Técnicos, y, por lo tanto, serán una base para las desarrolladas nacionalmente. Los organismos encargados del cumplimiento y revisión de las políticas ambientales son el Ministerio de Salud, encargado de velar por la calidad de agua distribuida a los habitantes, y el Ministerio de Ambiente y Energía. Le corresponde al AYA (Decreto Ejecutivo No.32133-S, 2004) el diseño, financiamiento, ejecución, operación y mantenimiento de obras para la recolección, tratamiento y disposición final de aguas residuales, generados en centros urbanos. Decreto Ejecutivo No.32133-S Gaceta 239 del 07 del 12 de 2004.

En el marco jurídico se puede citar las siguientes normas:

- LEY CONSTITUTIVA DEL INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS Ley No. 2726 de 14 de abril del 1961,
- LEY GENERAL DE SALUD Ley No. 5395 de 30 de octubre de 1973 Publicada en La Gaceta No. 222 de 24 de noviembre de 1973.
- LEY ORGÁNICA DEL AMBIENTE Ley No. 7554 De 4 de octubre de 1996 Publicada en La Gaceta No. 215 de 13 de noviembre de 1995,
- LEY DE CONSERVACIÓN DE LA VIDA SILVESTRE Ley No. 7317 de 30 de octubre de 1992 Publicada el 7 de diciembre de 1992,
- REGLAMENTO PARA EL MANEJO DE LODOS PROCEDENTES DE TANQUES SÉPTICOS Decreto Ejecutivo No. 21297-S de 15 de mayo de 1992. Publicado en La Gaceta No. 114, de 15 de junio de 1992,
- REGLAMENTO DE APROBACIÓN Y OPERACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Decreto Ejecutivo No. 31545-S-MINAE de 9 de octubre del 2003. Publicado en La Gaceta No. 246 de 22 de diciembre del 2003,
- REGLAMENTO DE VERTIDO Y REUSO DE AGUAS RESIDUALES Decreto Ejecutivo No. 33601-MINAE-S del 9 de agosto del 2006, Publicado en el Alcance No. 8 a La Gaceta No.55 del 19 de marzo del 2007, El decreto número 33601-MINAE-S, Reglamento de Vertido y Re-uso de Aguas residuales (2007) se establecen una serie de límites universales que se deben cumplir de manera obligatoria en el análisis de las aguas residuales.
- CÓDIGO SÍSMICO DE COSTA RICA Decreto Ejecutivo No. 31553-MICIT-MOPT. Publicado en La Gaceta No.249 del 26 de diciembre de 2003.
- El 27 de agosto del 2003, la Procuraduría General de la República emitió el pronunciamiento C-257-2003, que de conformidad con los artículos 1, 2, 3.b, 4 y 5 de la Ley N<sup>o</sup>. 6815 del 27 de septiembre de 1982 y sus reformas disponen que la Procuraduría General de la República tiene carácter de órgano de asesoramiento técnico de la Administración Pública activa (AYA J. d., 2008)
- **Ministerio de ambiente y energía secretaría técnica nacional ambiental setena** tel.: 2234-3420 fax: 2253-7159 y 2225-8862 [www.SETENA.GO.CR](http://www.SETENA.GO.CR) RESOLUCIÓN n°479-2014-setena el Ministerio de Ambiente y Energía, la

secretaría técnica nacional ambiental, a las 07 horas 00 minutos del 12 de marzo del 2014. Acuerdo de la comisión plenaria guía ambiental para la construcción. para la factibilidad y el estudio de impacto ambiental para construir proyecto. (SETENA, 2014).

- **Según el Dictamen 127 del 04 de julio del 2013 C-127-2013, Ingeniera Ileana Hidalgo López Directora Ejecutiva, Laboratorio Costarricense de Metrología,** se determina la obligación de contar con un regente del laboratorio Costarricense de Metrología para realizar las funciones de regente químico o si bien otros los profesionales en química del laboratorio pueden realizar también las tareas de regencia. Para que una vez a al mes se remita todos los documentos o estudios para el buen funcionamiento de la planta. (López, 2013)

## **2.11 Normas Internacionales.**

La provisión para el acceso de agua potable como un derecho esencial humano y la gestión de las aguas residuales, ha sido durante el último siglo un tema de suma importancia para la Organización de Naciones Unidas (ONU). La Comisión de la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible, destacó que los gobiernos y las entidades públicas encargadas de la gestión de servicios del servicio hídrico, tienen el deber de promover el acceso al agua potable y la gestión del agua residual. El ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización que se encarga de preparar normas funcionales para todos los países a través de comités técnicos. Estas normas van a estar redactadas de acuerdo a las establecidas en las directivas ISO/IEC. El Comité Técnico de Normalización Internacional, ISO/TC 224, ha trabajado durante los últimos años en las primeras tres normas de la serie ISO 24500 publicadas en diciembre de 2007 (ISO, 2007), a saber:

- 1) ISO 24510, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual: Directrices para la evaluación y la mejora del servicio a los usuarios.
- 2) ISO 24511, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual: Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua residual y para la evaluación de los servicios de agua residual.
- 3) ISO 24512, Actividades relacionadas con los servicios de agua potable y agua residual: Directrices para la gestión de las entidades prestadoras de servicios de agua potable y para la evaluación de los servicios de agua potable.

Esta norma internacional describe para las instituciones encargadas del servicio de agua potable y aguas residuales, los componentes físicos y de infraestructura, así como las directrices para la gestión y evaluación de los diferentes servicios de aguas. Se consideran temas de carácter general que recomiendan la gestión del proceso de los servicios públicos de aguas residuales y además se enfocan en una estrategia para la protección de la salud, seguridad de la población, y protección del medio ambiente. (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

En resumen, la Legislación Costarricense aborda el tema de las descargas de aguas residuales en la Ley Orgánica del Ambiente, Ley General de Salud, Ley de Conservación de la Vida Silvestre, Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y los decretos derivados de estas leyes, siendo necesario armonizar las competencias institucionales que existen, para aplicar de forma efectiva la legislación correspondiente a este tema. (AYA I. A., 2009)

Conforme lo dispuesto en los artículos 286, 287, 289, 300, 302 y 304 de la Ley General de Salud, toda persona propietaria de viviendas o edificaciones está obligada a mantener un sistema de disposición de excretas y aguas negras y asegurar que el mismo se encuentre en buenas condiciones de funcionamiento. Asimismo todo sistema de alcantarillado quedará bajo el control técnico del Ministerio de Salud e Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y las

personas de derecho privado o público que los construyan, administren u operen se sujetarán a las normas que el Poder Ejecutivo dicte para condicionar su construcción, funcionamiento y la evacuación final inadecuada de los desagües (AYA I. A., 2009).

## **2.12 Reglamentación de Aguas Residuales**

### **2.12.1 Normas de vertido**

Las normas de vertido existen con el objetivo de preservar la salud, el medio ambiente y la calidad de las aguas utilizadas como cuerpo receptor. Este propósito se logra por medio de la fijación de límites máximos permitidos para los parámetros de las aguas residuales, disminuyendo significativamente el impacto generado por lanzamiento del agua residual sin tratamiento al cuerpo receptor. En Costa Rica el Reglamento de Vertido y Reúso de las Aguas Residuales, es la norma cargada de definir los límites permisibles que deben de cumplirse para disminuir los efectos nocivos generados por los contaminantes contenidos en las aguas residuales. Esta norma establece diferentes límites de vertido que aumentan según el lugar al cual se destina el agua residual, por lo tanto, existen límites para cuando el vertido se realiza hacia:

- ✓ Alcantarillado sanitario
- ✓ Cuerpos receptores
- ✓ Actividades que reutilizan el agua tratada.

Los límites máximos establecidos para cuando el vertido se realiza hacia el alcantarillado sanitario se muestran así:

**Ilustración Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en alcantarillados sanitarios**

Parámetros	Límite Máximo
DBO	300mg/L
DQO	750mg/L
Sólidos Suspendidos	300mg/L
Sólidos Sedimentables	5ml/L
Grasas/Aceites	50mg/L
Potencial hidrógeno	6 a 9
Temperatura	$15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$
Sustancias activas al azul de metileno	5mg/L

Para cuando las aguas residuales son vertidas a un cuerpo receptor, los sistemas de tratamiento deben de cumplir con los límites máximos permitidos que se muestran a continuación:

**Ilustración Límites máximos permisibles para los parámetros universales obligatorios de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en un cuerpo receptor**

Parámetros	Límite Máximo
DBO	50mg/L
DQO	150mg/L
Sólidos Sedimentables	1ml/L
Sólidos Suspendidos	50mg/L
Grasas/Aceites	30mg/L
Potencial hidrógeno	5 a 9
Temperatura	$15^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$
Sustancias activas al azul de metileno	5mg/L

**Fuente: El decreto número 33601-MINAE-S, Reglamento de Vertido y Re-uso de Aguas residuales (2007), Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)**

Para determinar estos parámetros, se deben realizar pruebas de laboratorio en periodos semanales o mensuales, es importante mencionar que según la complejidad de la prueba esta podrá ser efectuada por técnicos de la planta o por laboratorios acreditados en el MINSA. Existen límites de vertido para las distintas opciones de uso posterior del agua residual tratada. Según el reglamento, existen 7 diferentes tipos usos cuyos límites se vuelven más restrictivos según la actividad a la cual se reserve el efluente tratado. Los límites que se deben de cumplir para considerar la reutilización del efluente tratado, este se muestra a continuación.

**Ilustración Límites máximos permitidos y parámetros adicionales de análisis obligatorio de aguas residuales reutilizadas según el tipo de actividad.**

Tipo de Reúso	Comentario al tipo	Parámetros	
		Nematodos intestinales promedio (Huevos/L)	Coliformes fecales (NPM/100ml)
Tipo 1	Urbano con acceso público (zonas verdes, campos de juego)	1	1 000
Tipo 2	Riego con acceso restringido (cultivo de césped, silvicultura, etc)	1	10 000
Tipo 3	Cultivos no procesados previo a la Venta	1	1 000
Tipo 4	Cultivos procesados previo a la venta	1	10 000
Tipo 5	Cultivos no alimenticios (arboles, pastos, fibras, semillas, etc.)	1	-----
Tipo 6	Recreativo (pesca, navegación, etc.)	1	10 000
Tipo 7	Paisajístico	1	-----
Tipo 8	Construcción	1	1 000

**Fuente: El decreto número 33601-MINAE-S, Reglamento de Vertido y Re-uso de Aguas residuales (2007), Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018).**

### **2.12.2 Aprobación y operación de sistemas de tratamiento**

Así como los sistemas de tratamiento deben de garantizar la protección del medio ambiente y de la salud del ser humano mediante el cumplimiento de los requerimientos mínimos de vertido, también se debe de garantizar una interacción segura entre la población servida y el sistema de tratamiento. Para alcanzar este objetivo el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento, busca regular todo lo relacionado con la ubicación de los diversos sistemas de tratamientos existentes. Sin embargo, es importante destacar que las regulaciones impuestas en este reglamento giran en torno a tres ejes principales que son: ubicación, construcción y operación y mantenimiento. En cuanto a la ubicación, este reglamento establece diferentes retiros que deben ser tomados en cuenta según el tipo de sistema de tratamiento que se esté considerando implementar. Se muestra los retiros exigidos por el reglamento.

Finalmente, este reglamento destaca en los artículos 17 y 18 que el sitio donde se ubique el sistema debe de contar con fácil acceso para el personal, estar libre de amenazas o riesgos que atenten contra éste y el funcionamiento los sistemas de tratamiento. (Corrales Chacón, 2011)

Retiros mínimos exigidos según el tipo de sistema de tratamiento

Tipo de tratamiento	Retiros mínimos (m)				
	50	20	10	5	1
Lagunas Anaerobias	x	-	-	-	-
Lagunas Facultativas aeróbicas y aireadas	-	x	-	-	-
Lodos Activados	-	-	x	-	-
Filtros Biológicos	-	x	-	-	-
Reactores Anaerobios	Abiertos	-	x	-	-
	Cerrados	-	-	x	-
Sedimentadores primarios y secundarios	Abiertos	-	x	-	-
	Cerrados	-	-	x	-
Tanques sépticos con zona de drenajes (Q = 14 m <sup>3</sup> /d)	-	-	-	-	x
Sedimentadores con digestores Incorporados (Q = 3,5 m <sup>3</sup> /d)	Abiertos	-	x	-	-
	Cerrados	-	-	x	-
Humedales artificiales	-	x	-	-	-
Floculación	-	-	x	-	-
Lechos de secado	-	-	x	-	-
Digestores aeróbicos	-	-	x	-	-
Laguna de lodos	x	-	-	-	-
Digestores anaeróbicos	Abiertos	-	x	-	-
	Cerrados	-	-	x	-
Campos de infiltración	-	-	-	-	-
Sistemas de evaporación	-	-	x	-	-
Cárcamos de bombeo	-	-	-	x	-
Plantas de tratamiento químico	-	-	-	x	-
Tanques de homogenización	-	-	-	x	-

Fuente: Reglamento de Aprobación y ubicación de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (2003), Citado por (Corrales Chacón, 2011) Decreto No.3154-S-MINAE

## GENERALIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

Existen diferentes niveles de tratamiento, cuya clasificación se encuentra estrechamente relacionada con el proceso empleado para la remoción de constituyentes y su eficiencia. Así por lo tanto cuanto mayor sea el nivel del tratamiento, mayor será la eficiencia en remoción de constituyentes. Los niveles o grados de tratamiento se mencionan y describen a continuación:

- ✓ **Preliminar:** se efectúa la remoción de constituyentes que puedan ocasionar problemas de operación y mantenimiento de los procesos Físicos, por ejemplo, sólidos gruesos, arenas.
- ✓ **Primario:** se eliminan sólidos sedimentables y parte de la materia orgánica presente en el agua residual y son Procesos Físicos como: Sólidos Flotantes(grasas), DBO Suspendida.
- ✓ **Secundario:** consiste en la remoción de materia orgánica, sólidos suspendidos finos y disueltos. Son de procesos Biológicos como: Sólidos Disueltos, DBO en suspensión fina, DBO disuelta.
- ✓ **Terciario:** se utiliza para la remoción de materia inorgánica disuelta del proceso químico como: patógenos y nutrientes (fósforo, nitrógeno, minerales, metales, sustancias tóxicas (metales pesados).

A su vez, cada nivel de tratamiento está compuesto por diferentes procesos u operaciones que intervienen en la remoción de los diversos contaminantes que componen las aguas residuales, estos se clasifican en:

**Procesos físicos:** utilizan elementos externos o recurren a la remoción de constituyentes por medio de la intervención de elementos y fuerzas físicas como: rejillas, mezclas, floculación, sedimentación, flotación y filtración.

**Procesos biológicos:** la remoción de la carga contaminante se lleva a cabo por medio de la actividad biológica como: Bacterias y Desnitrificación.

**Procesos químicos:** consiste en uso de productos químicos agregados al agua residual para lograr remover o transformar los contaminantes como: Precipitación, adsorción, y Desinfección (cloro, UV). (Corrales Chacón, 2011)

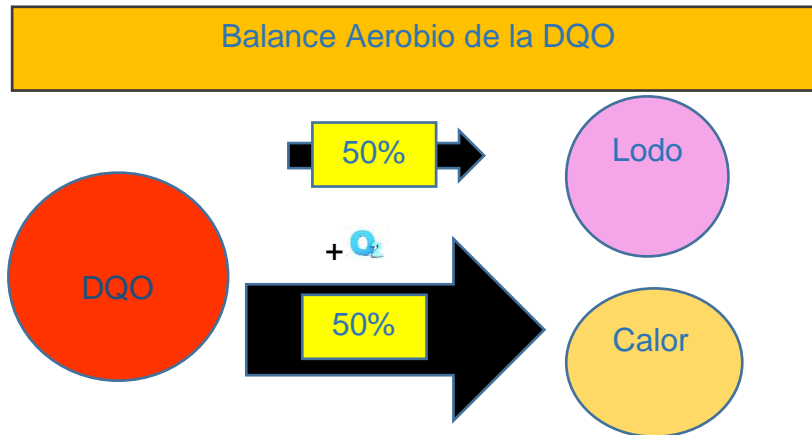
## **PROCESOS PARA EL TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES**

Para los sistemas biológicos donde ambos utilizan bacterias para la degradación de contaminantes, donde la condiciones bajo la cuales llevan reacciones de estabilización cambian para cada sistema ellos son: Sistema Biológico Aeróbicos y Sistema Biológico Anaeróbicos.

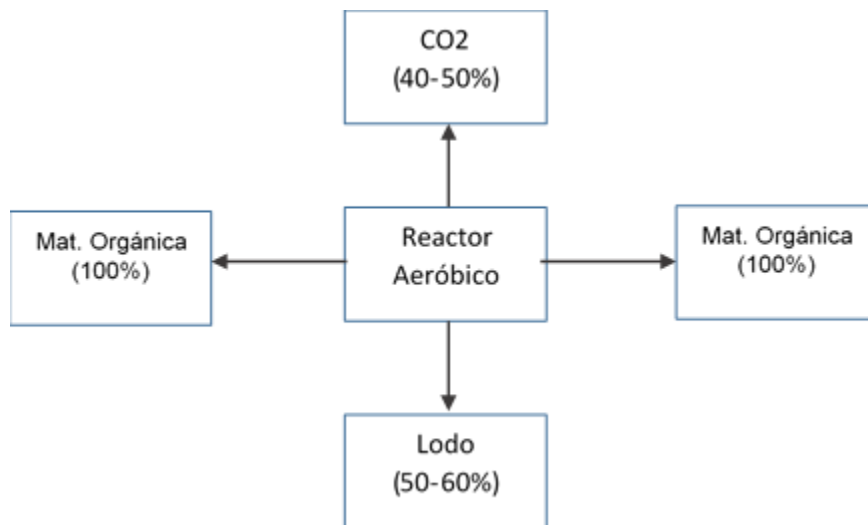
### **2.13 Sistema Biológico Aerobio**

En este tipo de tratamiento se llevan a cabo procesos catabólicos oxidativos. Como el catabolismo oxidativo requiere la presencia de un oxidante de la materia orgánica y normalmente este no está presente en las aguas residuales, él requiere ser introducido artificialmente. La forma más conveniente de introducir un oxidante es por la disolución del oxígeno de la atmósfera, utilizando la aireación mecánica, lo que implica altos costos operacionales del sistema de tratamiento. Adicionalmente la mayor parte de la DQO de la materia orgánica es convertida en lodo, que cuenta con un alto contenido de material vivo que debe ser estabilizado. (Rodríguez Victoria, 2012). Citado por (Eugenio Ruiz Sancho, 2016).

### Ilustración Diagrama Aerobio



Fuente: UASB.org Citado por (Eugenio Ruiz Sancho, 2016)

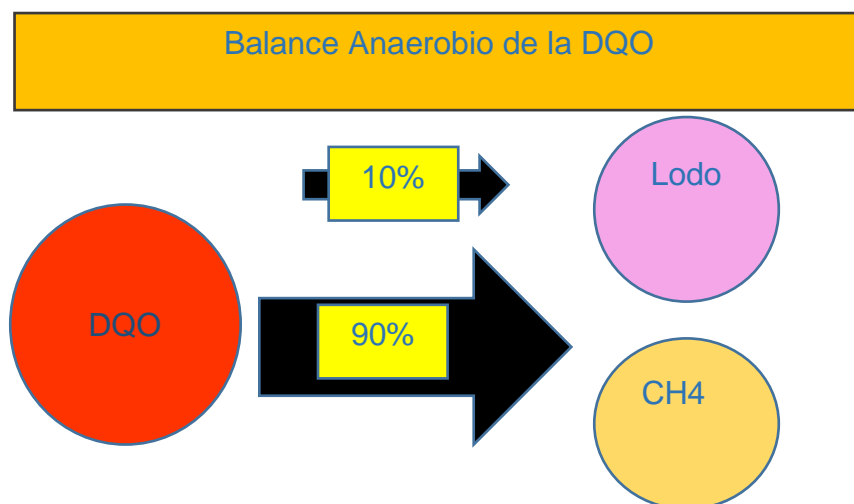


Fuente: Von Sperling (1996), Citado por (Corrales Chacón, 2011)

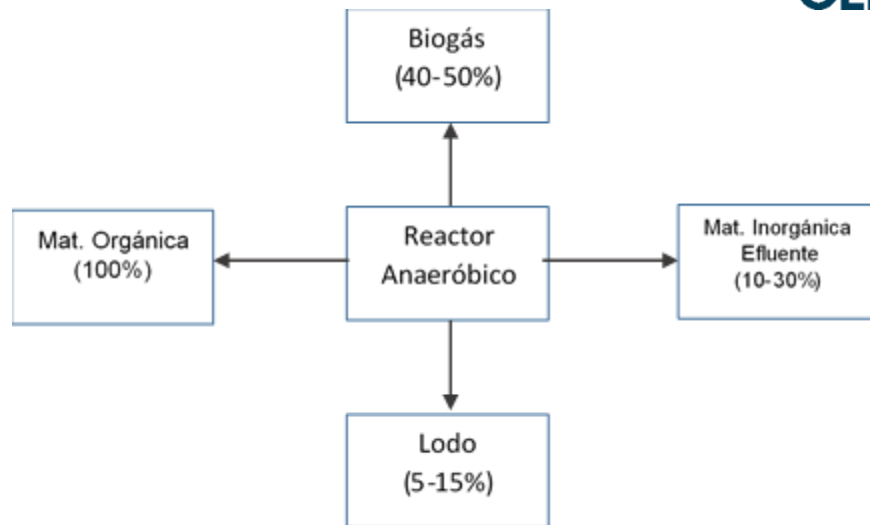
## 2.14 Sistema Biológico Anaerobio

La digestión anaerobia es un proceso de transformación y no de destrucción de la materia orgánica, como no hay presencia de un oxidante en el proceso, la capacidad de transferencia de electrones de la materia orgánica permanece intacta en el metano producido. En vista de que no hay oxidación, se tiene que la DQO teórica del metano equivale a la mayor parte de la DQO de la materia orgánica digerida (90 a 97%), una mínima parte de la DQO es convertida en lodo (3 a 10%). En las reacciones bioquímicas que ocurren en la digestión anaerobia, solo una pequeña parte de la energía libre es liberada, mientras que la mayor parte de esa energía permanece como energía química en el metano producido. (Rodríguez Victoria, 2012). Citado por (Eugenio Ruiz Sancho, 2016)

Ilustración Diagrama Anaerobio



Fuente: UASB.org Citado por (Eugenio Ruiz Sancho, 2016)



Fuente: Von Sperling (1996), Citado por (Corrales Chacón, 2011)

## 2.152.9 Parámetros de diseño

### 2.15.1 A. Periodo de diseño

El periodo de diseño está vinculado con la vida útil de la infraestructura, por lo que se debe diseñar para una vida útil a 30 años, esto según el artículo 2.3.2 de la Norma del AyA por lo que el diseño de la planta de tratamiento de aguas será proyectado para el año 2050, considerando un periodo a 30 años.

### 2.15.2 Población de Diseño

El caudal de agua residual como factor principal es el número de habitantes, por lo que es importante realizar una proyección de una población a futuro a 30 años para prever el crecimiento de la población, este es denominado Población de Diseño, este factor es el principal contribuyente del agua residual.

### 2.15.3 Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno es la cantidad de agua potable que se transforma en agua residual, se recomienda usar un valor del 80%.

#### **2.15.4 Ubicación**

Las tuberías de alcantarillado sanitario se ubicarán en la línea de centro de las calles y avenidas y se colocarán por debajo de la tubería de agua potable a una distancia mínima libre de 0,20 metros en elevación y de 1,0 metro mínimo en planta.

#### **2.15.5 Velocidad**

La velocidad a tubo lleno no será mayor de 5,0 metros por segundo. Y la velocidad mínima será la producida por una fuerza tractiva mínima de 0,10 kg/m<sup>2</sup>.

#### **2.15.6 Tirante hidráulico máximo**

El valor del tirante hidráulico máximo deberá ser menor o igual que 75% del diámetro nominal de la tubería para el caudal de diseño.

#### **2.15.7 Forma de sección de los conductos**

Esta debe ser circular.

#### **2.15.8 Continuidad de tuberías**

No se aceptan reducir el diámetro nominal de las tuberías, aunque por capacidad no hubiere limitación alguna

#### **2.15.9 Profundidad**

Las profundidades máximas y mínimas serán de 3,85 y de 1,30 metros de la rasante terminada a la corona del tubo.

#### **2.15.10 Pozos de Registro**

Los pozos de registro serán de concreto reforzado y estos se van a considerar en el inicio e intersecciones de subcolectores, en cambios bruscos de pendientes y direcciones y en 11 tramos rectos se ubicará un pozo a una distancia no mayor a 1.20m entre pozos con una profundidad de 1.30 m.

#### **2.15.11 Diámetro mínimo nominal**

Para este Diámetro nominal mínimo de la red debe ser de 150 mm.

### **2.15.12 Dotación domiciliar**

El acueducto de San Mateo de Alajuela presenta la ausencia de macro-medidores y micro-medidores por lo cual no es posible determinar la dotación por habitante en dicho cantón, según el Reglamento de Normas Técnicas del AyA, cuando no existen de datos y patrones de consumos y demandas de agua de la ciudad se debe considerar que para la estimación de dotación se utilizarán los siguientes valores mínimos:

1. Poblaciones rurales: 200 l/p/d
2. Poblaciones urbanas: 300 l/p/d
3. Poblaciones costeras: 375 l/p/d
4. Gran Área Metropolitana: 375 l/p/d

### **2.15.13 Caudales**

Dentro de las aguas residuales se distinguen varios tipos de aguas según su empleo, en estas se distinguen las aguas de uso doméstico, industriales, institucionales y comerciales, cada tipo tiene un aporte al caudal medio diario. Para el cálculo y obtención de los caudales se considerará el Reglamento de Normas Técnicas del AyA.

## **CAUDALES DE DISEÑO AGUAS RESIDUALES ORDINARIAS (QPARO).**

### **2.16 Aguas residuales ordinarias (Qparo):**

Se calculará aplicando de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{paro}} = FR * Q_{\text{pap}}$$

Donde:

1. Qparo: Caudal promedio de agua residual ordinaria
2. FR: Factor de retorno (0.80)
3. Qpap: Caudal promedio diario neto de agua potable

## 2.17 Caudal máximo horario de aguas residuales

El caudal máximo será:

$$Q_{\max} = Q_{\text{par}} \cdot \text{FMH} \cdot \text{FMD} \cdot \text{FS}$$

Donde:

$Q_{\text{par}}$ : Caudal promedio de aguas residuales

FMH: Factor máximo horario será igual a 1.40.

FMD: Factor máximo diario será igual a 1.80.

$Q_{\text{inf}}$ : Caudal de infiltración

## 2.18 Cálculo Caudal de diseño

Según el Reglamento de Normas Técnicas del AyA., para el cálculo promedio de aguas residuales se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{\text{FR} \cdot \text{Dot} \cdot \text{Pob}}{86400}$$

Donde:

$Q_{\text{PAP}}$ : Caudal promedio de aguas residuales (l/s);

FR: Factor de retorno (0.8);

Pob: Población

Dot: Dotación

## 2.19 Fórmula de Manning

En relación con la reglamentación técnica del AyA se especifica que se debe diseñar como conductos en escurrimiento libre, por gravedad. Para el diseño se hará uso de las fórmulas hidráulicas de canal abierto, como por ejemplo la ecuación de Manning. Los coeficientes mínimos de rugosidad por utilizar en la fórmula serán los establecidos para la  $n$  de Manning.

$$V = C R^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

$V$ : es la velocidad media.

$C$ : es un factor de resistencia del escurrimiento.

$R$ : es el radio hidráulico.

$S$ : la pendiente.

Esta fue modificada y expresada en unidades métricas como:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

**Tabla del Coeficiente para “n” de Manning según material de tubería**

Coeficientes para la “n” de Manning	
Tipo de material	“n”
Cloruro de Polivinilo (PVC)	0,010
Polietileno de Alta Densidad (ADS)	0,011
Hierro Dúctil revestido internamente	0,011
Acero sin revestir con juntas soldadas	0,012
Concreto C-14 y C-76 sin revestir por dentro	0,013

Fuente: Tabla elaboración propia, según Anexo 2 del Reglamento de Normas Técnicas del AyA, los autores Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

## CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se desarrolla los diferentes enfoques que permitirán fundamentar el grado de viabilidad para el proyecto; así como el tipo de investigación que permita definir sus dimensiones, alcances y posibles alternativas de ubicación, rutas de alcantarillado, y costos estimados de la obra.

No está de más recalcar la importancia de identificar las fuentes y sujetos de información, tema que también se desarrolla en este capítulo.

### 3.1 Enfoque de la Investigación

Como parte de las estrategias planteadas en el Plan de Desarrollo Humano Local, para el cantón de San Mateo, surge la necesidad de plasmar una alternativa para la creación de un sistema de alcantarillado sanitario, con su respectiva planta para el tratamiento de las aguas residuales, en el casco urbano del cantón.

El proyecto carece de antecedentes históricos por su naturaleza, su impacto y las características del cantón, se debe iniciar el proceso para recopilar la información

relacionada para el establecimiento de dicha planta, áreas que se van a beneficiar de su existencia, espacios en donde se pueda ubicar, rutas por las que pasaría los drenajes, para así plantear los diseños, estimación de costos y características, para la eventual puesta en marcha del sistema.

Debido a esto, se requiere a nivel macro, un enfoque el cual permita flexibilidad, autenticidad, credibilidad, idoneidad, atributos que aporta la metodología cualitativa (Strauss & Corbin, 2002, págs. 13-14; Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 15).

Desde la perspectiva micro, el diseño del alcantarillado sanitario, así como la capacidad para procesar el volumen que recibiría la planta, requiere un enfoque cuantitativo, el cual permita fundamentar su diseño en conteos, magnitudes, cantidades, desfogues, entre otros parámetros. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 15)

Considerando lo anterior, el enfoque que se utilice para esta investigación debe permitir utilizar herramientas pertenecientes al enfoque cualitativo y al cuantitativo. Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 534).

Para realizar esta investigación se decide utilizar el enfoque mixto, ya que esta categoría permite realizar mediciones, según las distancias y curvas de nivel, para determinar las distancias, y cantidades requeridas de alcantarillas, para facilitar el desfogue de las aguas hasta la planta de tratamiento, también la promoción social que se proyecta en el cambio de cultura, hacia los habitantes de la zona, que mejorarán su calidad de vida y faculta el uso de información documental vinculante, existentes en Acueductos y Alcantarillados, Ministerio de Salud y la Municipalidad de San Mateo, así como entrevistas, trabajo de campo, y criterios intuitivos para establecer las mejores estrategias para cumplir con los objetivos propuestos.

### 3.2 Tipo de investigación

Por tratarse de una investigación bajo el enfoque mixto, en el ámbito de las investigaciones cuantitativas, se le categoriza como no experimental, de tipo exploratorio, debido a que es un tema nuevo en el cantón de San Mateo, carente o con escasos de estudios previos (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 358), esto presenta una oportunidad para descubrir nuevas estrategias, soluciones, y demás alternativas enfocadas a la resolución o mitigación del problema planteado.

Con respecto a la investigación cuantitativa de tipo no experimental exploratoria, los autores Álvarez y Jurgenson aportan lo siguiente:

Ayuda a familiarizarse con fenómenos desconocidos, obtener información para realizar una investigación más completa en un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados (Álvarez & Jurgenson, 2003, pág. 97).

De forma complementaria, muchos de los datos no son accesibles por medio de métodos estadísticos (Álvarez & Jurgenson, 2003, págs. 19-20), como sería, por ejemplo, los criterios de idoneidad o viabilidad de los espacios donde pueda ubicarse la planta. Esto requiere, bajo un enfoque cualitativo, que se desarrolle un tipo de investigación de teoría fundamentada o sustentada, respaldado por un proceso de ordenamiento conceptual o, en otras palabras, la organización de la información disponible, según sus descripciones, propiedades y dimensiones (Álvarez & Jurgenson, 2003, págs. 25, 29).

Este tipo de investigación permite una mayor flexibilidad, una mejor integración con el contexto, una mayor participación e interacción por parte de diversos actores, con puntos de vista *“frescos, naturales y holísticos de los fenómenos”*, que aportan nuevas visiones, con riqueza interpretativa, circunscritas a un ámbito determinado, aplicables a un contexto concreto (Hernández Sampieri, Fernández Collado, &

Baptista Lucio, 2014, págs. 16, 472-473, 476), lo cual permite disponer de una variedad de alternativas para la resolución de los objetivos.

### **3.3 Sujetos y fuentes de investigación**

**Las fuentes de investigación** son los documentos que existen sobre el diseño y tratamiento de Aguas Negras y Servidas que pueda recolectar en el Ente Rector de Aguas (Acueductos y Alcantarillados), en empresas fabricantes de tecnologías para el tratamiento de aguas, en el Ministerio de Salud, en el INEC, en la Municipalidad de San Mateo, y en las instituciones relacionadas con los permisos y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas servidas. También la normativa existente relacionada o requerida para la realización de este tipo de proyecto.

**En cuanto a los sujetos**, los funcionarios relacionados con la parte Operacional de las instituciones citadas anteriormente, así como ingenieros, arquitectos y personal técnico y encargados de los departamentos de ingeniería y catastro de la Municipalidad de San Mateo, esto incluye profesionales de otras instituciones o consultores independientes, con conocimiento y experiencia, cuyos aportes enriquezcan este estudio.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADO**

### **3.4 Análisis Demográfico**

#### **3.4.1 Población de diseño**

El área de estudio que debemos de proyectar para la población futura de la provincia de Alajuela del cantón de San Mateo, sabiendo las características sociales, culturales y económicas de este poblado tanto del pasado, como el presente nos viene a garantizar que el sistema soporte el caudal de los habitantes futuros. Y así mismo el estudio de esta población futura para acercarnos a los resultados más reales, para así poder diseñar el sistema más adecuado a las necesidades del pueblo de San Mateo y no sobrepasar los costos de diseño.

El sistema de diseño para esta población a futuro se proyectará a 25 años, agregándole 5 años por tramites de permiso de construcción y financiamiento, dando un diseño óptimo de funcionamiento, empezando en el año 2021, más los 25 años proyectados y los 5 años por permisos por tramites llegando así al año 2050. Esto por la norma del AyA-90 en el artículo 2.3.2, realizando una vida útil a 30 años según el diseño de alcantarillado.

#### **3.4.2 Método de estimación futura a la población del cantón San Mateo**

Los censos vienen a dar fundamento para cualquier tipo de proyecciones a futuro, de la cual es necesaria para la tasa de crecimiento para poder trabajar con la población del Cantón de San Mateo, dado por los censos del Instituto de Estadística y Censo (INEC).

### 3.4.3 Primer Método Aritmético o Lineal

El modelo aritmético o de crecimiento lineal fundamenta en considerar que el aumento de la población es constante e independiente del tamaño del estudio a realizar. Donde P es la población, t es el tiempo y k es crecimiento de la Población.

P: Población (habitantes) del censo final (año que se requiere proyectar).

Pf: Población (habitantes) Último año censado con información.

Pb: Población (habitantes) del censo inicial (censado con información).

Tf: Tiempo Censo Final (último año censado con información).

Tb: Tiempo Censo Inicial (censado con información).

T: Año que se requiere proyectar la información.

Entonces:

$$\frac{dP}{dt} = k \quad \text{Entonces} \quad dP = k \cdot dt$$

Para la Integración en los límites del Censo Final y Censo Inicial se calcula así:

$$\int_{Pb}^{Pf} dP = \int_{tb}^{tf} k dt \quad \text{donde} \quad Pf - Pb = K(Tf - Tb)$$

Y para obtener la población futura sería

$$P = Pf + k(Tf - Tb)$$

Donde K que es el Crecimiento de la Población, para estimar el promedio entre los censos sería:

$$K = \frac{Pf - Pb}{Tf - Tb}$$

La estimación de P para un tiempo t futuro se calcula de esta forma:

$$P = Pf + \frac{Pf - Pb}{Tf - Tb} (T - Tf).$$

### 3.4.4 Segundo Método Geométrico

Conocido también como método gráfico, muestra una importante actividad económica, para generar un desarrollo importante en las áreas de expansión la cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. Este método se usa más en ciudades que no han alcanzado su desarrollo ya que mantiene una tasa fija en su crecimiento, donde:

Pf: Población Futura

Pu: Población del último censo.

r: Tasa de crecimiento anual.

Tf: Tiempo que se requiere saber población futuro

Tu: año de último Censo inicial

Pu: Población último censo

Pc: Población inicial de muestra

Tu: año del último censo

Tc: año de la primera muestra

Entonces:

$$\frac{dP}{dt} = rg * P \quad \text{Entonces} \quad \frac{dP}{P} = rg * dt$$

Para la Integración en los límites del Censo Final y Censo Inicial se calcula así:

$$\int_{Pb}^{Pf} \frac{dP}{P} = rg \int_{tb}^{tf} dt \quad \text{donde} \quad Pf - Pu = rg (tf-tu)$$

Y para obtener la población futura sería

$$Pf = Pu (1 + r)^{(tf-tu)}$$

Donde r que es el Constante Crecimiento de la Población geométrica, para estimar el promedio entre los censos sería:

$$r = \left( \frac{Pu}{Pc} \right)^{\frac{1}{Tu-tc}} - 1$$

### 3.4.5 Tercer Método analítico o logarítmico

Este modelo logarítmico o analítico se utiliza cuando el aumento de la población es de tipo exponencial, del cual se requiere por lo menos tres censos, para determinar el promedio de la tasa de crecimiento de dicho estudio. Una recomendación que se pide, es que el pueblo en estudio tenga un buen desarrollo y con buenas áreas de expansión, y se expresa con la siguiente ecuación de población futura:

Donde:

Kg: Constante de crecimiento de población logarítmica.

Ln: Logaritmo Natural.

E: Número de Euler.

Pf: Población del censo final.

Pb: Población del censo base o inicial.

Tf: Tiempo Censo final.

Tb: Tiempo Censo base.

$$Pf_U = Pb * e^{kg} (Tf - Tci)$$

Para estimar un promedio entre los censos (dos periodos censales) se expresa como el valor de kg (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

$$Kg = \frac{\ln Pf - \ln Pb}{tf - tb}$$

### 3.4.6 Cuarto método de Wappus

Este método es función de tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño, para este método se emplea en poblaciones menores o pequeñas hasta 5000 mil habitantes y en poblaciones mayores o grandes hasta 10 000 mil habitantes. Se expresa con la ecuación de población futura:

$$P_{fu} = P_b \frac{(200 + i * (t_f - t_b))}{(200 - i * (t_f - t_b))}$$

Donde:

*i*: Constante de crecimiento de población según Wappaus.

*P<sub>f</sub>*: Población del censo final.

*P<sub>b</sub>*: Población del censo base o inicial.

*t<sub>f</sub>*: Tiempo Censo final.

*t<sub>b</sub>*: Tiempo Censo base.

Donde este método solo se aplica cuando la tasa de crecimiento  $i < 200$

El valor de *i* se estima como un promedio entre los censos o se estima entre dos períodos censales: (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

$$i = \frac{200 * (P_f - P_b)}{(t_f - t_b) * (P_f + P_b)}$$

### **3.4.7 Análisis demográfico de la zona**

Para definir el caudal de diseños que se ocupara para implementar la PTAR en el pueblo de San Mateo, uno de los primeros pasos que se debe realizar sería:

1. Proyectar la cantidad de habitantes futura para el área de estudio.
2. Diseñar el sistema de alcantarillado.
3. Elaborar la planta de tratamiento de agua residuales, adecuada a las necesidades del cantón de San Mateo.

Dónde se va a desarrollar el proyecto, el área por trabajar está en la provincia de Alajuela, cantón San Mateo distrito Centro.

El análisis de resultado que se aplicará para determinar la población de diseño se obtendrá del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Con el fin de proyectar la población futura a 30 años utilizando los 4 métodos (Lineal, Geométrico, Logarítmico y Wappus). (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

## POBLACIÓN DE DISEÑO SEGÚN CANTIDAD DE PERSONAS

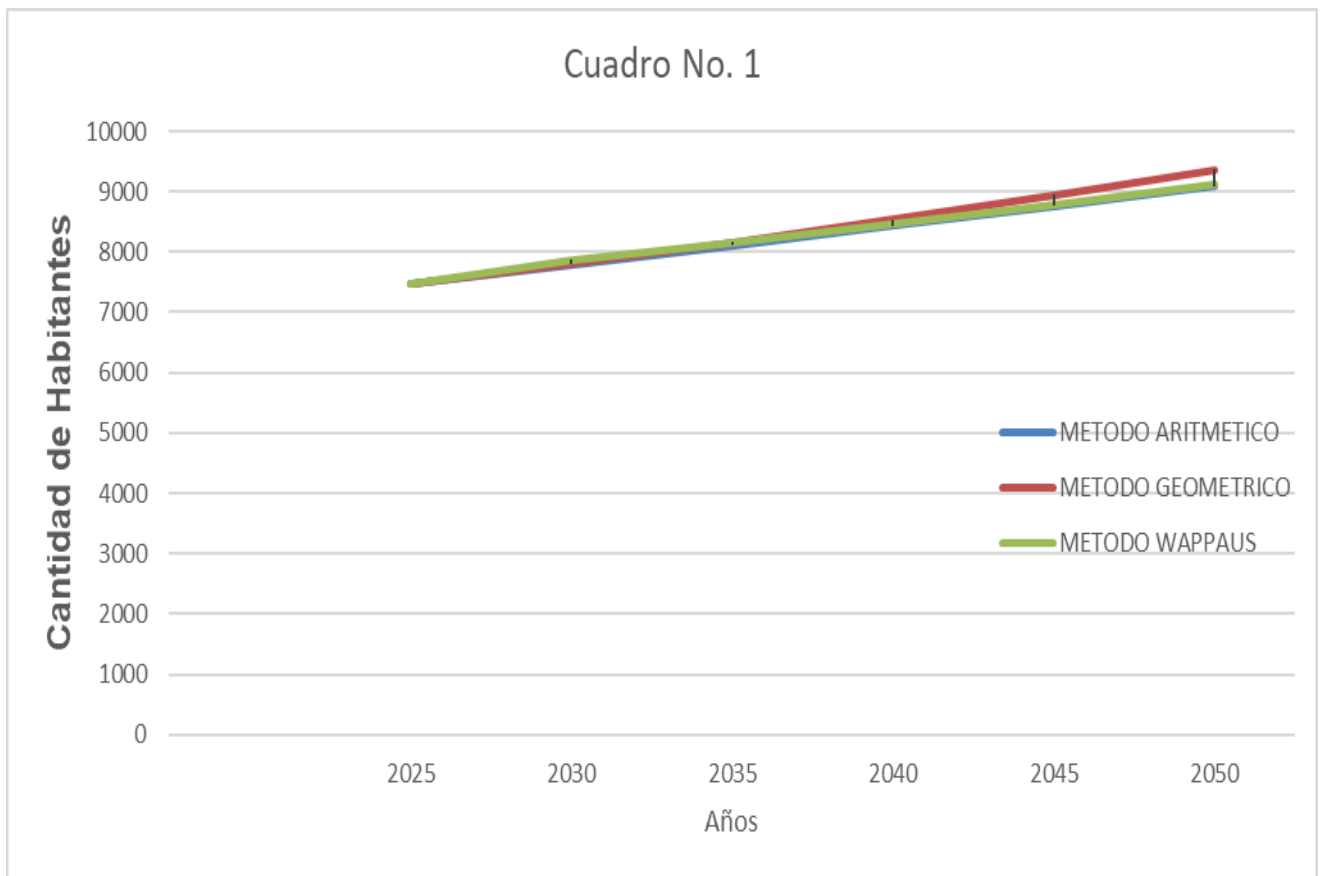
**Cuadro No.1 Cantidad de habitantes por distrito entre el año 2020-2050**

POBLACION FUTURA PROYECTADO A 30 AÑOS DEL PUEBLO DE SAN MATEO DE ALAJUELA											
Costa Rica: Proyecciones de población según provincia, cantón y distrito al 30 de junio de cada año 2016 - 2050											
Provincia, cantón y distrito	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050
San Mateo	7 141	7 208	7 276	7 338	7 397	7 465	7 789	8 112	8 436	8 759	9 083
San Mateo	3 046	3 058	3 071	3 077	3 086	3 097	3 147	3 196	3 246	3 295	3 345
Desmonte	1 174	1 187	1 201	1 216	1 229	1 246	1 322	1 398	1 474	1 551	1 627
Jesús María	1 478	1 496	1 517	1 534	1 551	1 572	1 668	1 764	1 860	1 957	2 053
Labrador	1 443	1 467	1 487	1 511	1 531	1 550	1 652	1 753	1 855	1 957	2 058

**Fuente** Estadísticas demográficas. 2020 – 2050. Proyecciones nacionales. Población total proyectada al 30 de junio por grupos, según provincia, cantón, distrito. Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

Para el cuadro No.1, cantidad de habitantes por distrito entre el año 2020-2050 por la provincia de Alajuela, del cantón de San Mateo, y Distritos (San Mateo, Desmonte, Jesús María y Labrador), nos indica que para el 2020 en el distrito de San Mateo había una población de 7141 habitante, y la proyección estimada para el año 2050 tendría la cantidad de 9083 habitantes.

Gráfico No.1 Las proyecciones de la población futura según cantidad de habitantes del cantón de San Mateo de Alajuela utilizando los métodos: Aritmético, Geométrico, Logarítmico y Wappus.



Fuente: Elaboración Propia

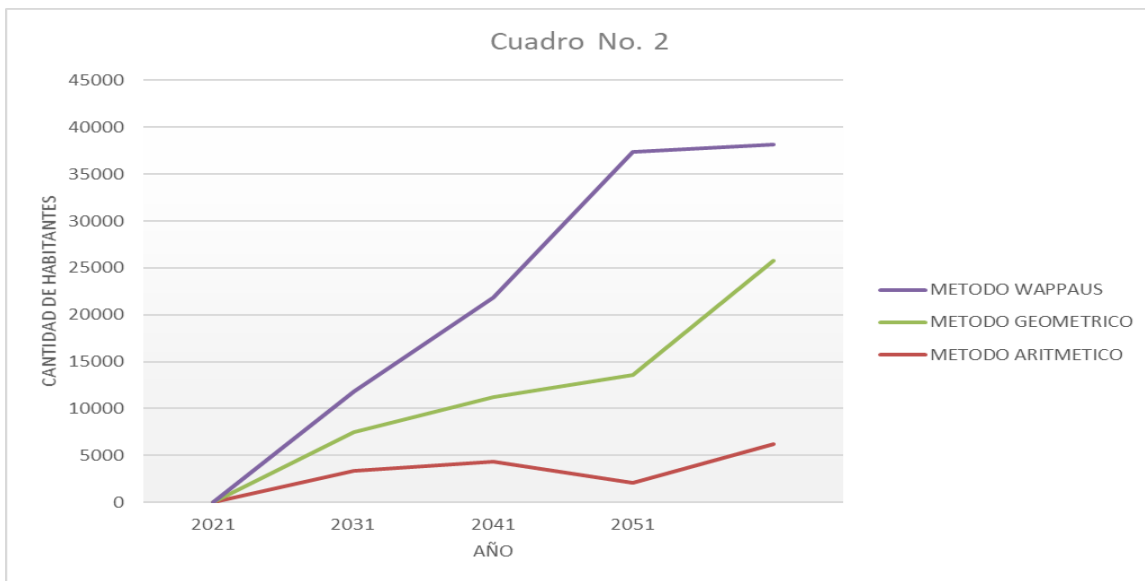
## POBLACIÓN DE DISEÑO POR CANTIDAD DE VIVIENDAS TANTO HABITABLES Y SU DENSIDAD.

Para calcular esta población utilizaremos un censo que cuenta con números de vivienda ya sea habitable o no habitable por los habitantes de la zona en estudio, utilizando dichos censos para la cantidad de viviendas para los años 2020-2050 para el cantón de San Mateo. Densidad de población = Población total / Extensión en Km<sup>2</sup> (INEC, Censos Nacionales y Vivienda 2000 y 2011, 2011)

Cuadro No.2 Costa Rica: Indicadores de condiciones de habitabilidad según Cantón y Distrito del San Mateo de Alajuela Censo 2000 -2011 Proyectado al 2051							TOTAL Viviendas 2000 al 2041	Densidad de ocupantes por vivienda
Provincia, cantón y distrito	2000	2011	2021	2031	2041	2051		
San Mateo	1 419	2 461	3 408	4 356	5 303	6 250	23197.00	1. 08
San Mateo	702	1 166	1 588	2 010	2 431	2 853	10750.00	3. 64
Desmonte	211	318	415	513	610	707	2774.00	2. 57
Jesús María	506	977	1 405	1 833	2 262	2 690	9673.00	7. 11

(INEC, CENSOS 2000-2011, (2000))

Gráfico No.2 Las proyecciones de la población futura por cantidad de viviendas tanto habitables y su Densidad, del cantón de San Mateo de Alajuela utilizando los métodos: Aritmético, Geométrico, Logarítmico y Wappus.



Fuente: Elaboración Propia

En el Gráfico anterior presenta la cantidad de viviendas ocupadas en el distrito de San Mateo Centro de la provincia de Alajuela, como se puede observar esta muestra un promedio de ocupantes por casa que en el año 2011 era de 3.20 habitantes por casa y en el 2051 es de 3.64 personas por casa.

### **3.5 Cálculo de caudales de diseño**

Para determinar la dotación por habitante, y por posible ausencia de medidores y por medir los consumos particulares por habitante, por cual no se puede, se recomienda usar para la estimación de la dotación utilizar los valores de consumo correspondiente al Reglamento de Normativas Técnicas del AyA, donde indica que la dotación para la población urbana es de 300 l/p/d y para población rurales de 200 l/p/d, donde, para esta zona se clasifica como semiurbana utilizaremos un una dotación promedio de 250. El caudal de diseño se debe presentar el detalle de las áreas tributarias y su correspondiente distribución espacial basado en la topografía del sitio del proyecto y considerando los aportes externos al proyecto. : (AyA, 2017), (AYA, 2006)

$$Q_d = (DOT * POB) / 86400$$

Qd: Caudal de Diseño

DOT: Dotación

Factor de conversión Tiempo 86400

**Ilustración coefeciente de escorrentía**

<b>Coefeciente de escorrentía por tipo de área o desarrollo</b>	
<b>Tipo de Área o Desarrollo</b>	<b>C</b>
<b>TIPO DE AREA</b>	
Techos de edificios	0.80-0.95
Pavimentos de asfalto o concreto	0.70-.095
Pavimentos de ladrillo	0.70-0.80
<b>Suelos cubiertos de pasto:</b>	
Pendientes de 2% o menos	0.05-0.10
Pendientes de 2 a 8%	0.10-0.16
Pendientes de 8% o más	0.16-0.20
<b>Suelos arcillosos cubiertos de pasto</b>	
Pendientes de 2% o menor	0.10-0.16
Pendientes de 2 a 8%	0.17-0.25
Pendientes de 8% o más	0.26-0.36
<b>TIPO DE DESARROLLO</b>	
Comercios urbanos	0.70-0.95
Oficinas comerciales	0.50-0.70
Casas unifamiliares	0.30-0.50
Condominios	0.40-0.60
Apartamentos	0.60-0.80
Residencias suburbanas (parcelas agrícolas)	0.25-0.40
Parques y cementerios	0.10-0.30

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: (AyA, 2017)

Qmd= Caudal medio diario

Qmax= Caudal Máximo

FR =Factor Retorno

Qpar= Caudal Promedio Aguas Residuales

Dot= Dotación

FMH= Factor Máximo Horario

Pob= Población

FMD= Factor Máximo Diario

FS= Factor Seguridad

$$Qmd = \frac{FR \cdot Dot \cdot Pob}{86400}$$

$$Qmax = Qpar \cdot FMH \cdot FMD \cdot FS$$

### 3.6 Aguas residuales ordinarias (Qpar):

El caudal promedio de agua residual, tipo ordinario, se debe calcular aplicando la siguiente fórmula: Donde:

$$Q_{par} = FR * Q_{pap}$$

- Qpar: Caudal promedio de agua residual tipo ordinario
- FR: Factor de retorno (0,80)
- Qpap: Caudal promedio diario de agua potable; la dotación debe ser la que se establece en la sección 4.3 “Dotaciones” (AYA, 2017)

**Cuadro No. 3 Cálculo del Caudal de Diseño** (AYA, 2017)

<b>Cuadro No. 3 Datos sobre Caudal de diseño</b>		
<b>Datos para Calcular el Diseño del Caudal</b>		
NOMBRE	VALORES	UNIDADES
Dotación	250	l/Días
Población	9100	Personas
Factor Retorno	0.8	~
Factor Conversion Tiempo	86400	Seg
Factor máximo diario	1.2	~
Factor máximo horario	1.8	~
Factor de Seguridad	5%	%

Fuente: Elaboración Propia

**Cuadro No. 4 Determinación del Caudal (Resultados)** (AYA, 2017)

<b>Cuadro No. 4 Resultados del Caudal</b>		
<b>Datos para Determinar Diseño del Caudal</b>		
NOMBRE	VALORES	UNIDADES
Caudal promedio residual	200	l/s
Cudal Medio Diario	21.1	l/s
Caudal máximo diario	25.32	l/s
Caudal máximo horario	37.98	l/s
Cudal de Diseño	26.33	l/s

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7 Cargas Contaminantes

No se realizaron pruebas de laboratorio al no existir alcantarillados sanitarios, para medir las cargas contaminantes, dado esta situación se tuvo que recurrir a los datos del A y A, para realizar el cálculo promedio.

Cuadro No. 5 Cargas Contaminantes Promedio Agua Residuales (CR). Límites máximos permisibles para los parámetros universales de análisis obligatorio de aguas residuales vertidas en alcantarillados sanitarios (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales , 1973)

#### Ilustración Cuadro de Contaminantes

<b>Cuadro No. 5 Cargas Contaminantes</b>	
<b>Parámetros Diseño</b>	<b>Cargas Diseño</b>
Unidades	mg/l
Grasas y Aceites	50
Sólidos Suspendidos Total	300
Demanda Química Oxígeno	750
Dmanda Bioquímica Oxígeno	300

Fuente: Elaboración Propia (AYA, 2006) (AYA, 2017)

Este cuadro viene a determinar las cargas contaminantes para el diseño de la PTAR, para determinar los parámetros que miden la contaminación del agua a través del DBO que mide la cantidad de oxígeno, que utiliza los microorganismos para controlar la materia orgánica del agua residual. Con el fin de comprobar las dimensiones de la PTAR.

## **CAPÍTULO V DISEÑO DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

### **3.8 Diseño de la red de alcantarillado sanitario**

Desde la época Romana el sistema de alcantarillado fue utilizada especialmente para las aguas de lluvia (Pluviales). Dado a este sistema vino a mejorar las salidas de estas aguas pluviales, al haber muchas enfermedades en la época de los Romanos, vieron que era muy útil el sistema de alcantarilla, de ahí que empezaron a usar este sistema para evacuar las aguas residuales y las aguas sólidas de las ciudades, comenzando así este sistema de alcantarillado para fortalecer la salud de los habitantes de cada ciudad. Se le conoce alcantarillado o red de alcantarillado al conjunto de estructuras y tuberías que se usan para recolectar y transportar aguas residuales y pluviales de una población, empezando en el lugar en que se genera hasta el sitio en donde se vierten, o descarga (PTAR). Hay ciudades importantes que no cuentan con un buen sistema de alcantarillado, por eso es dónde vienen un nivel elevado de higiene, sin la protección de la salud, por eso las ventajas que proporciona un sistema completo de alcantarillado, son importantes en mundo contar con dichos sistemas, así los cambios en población son de buen provecho. (GONZÁLEZ, 2005)

### **3.9 Sistema de Alcantarillados y sus elementos que lo componen.**

Para un sistema de alcantarillado, que se vaya a usar en un pueblo cualquiera esto va depender mucho de su topografía, sus características, condiciones económicas del proyecto por realizar, el tipo y su longitud. Algunos de estos Tipos de alcantarillados son:

1. Acometidas domiciliaria
2. Las primarias
3. Las secundarias
4. Colectores
5. Interceptores

**Las acometidas domiciliarias**, se encargan de transportar las aguas residuales originadas por las casas o edificaciones que van hacia la alcantarillas secundarias o terciarias.

**Las alcantarillas primarias**, estas son utilizadas para transportar el agua que vienen de las redes secundarias, hacia los colectores e interceptores.

**Los colectores**, estos se encargan de transportar el agua residual a la PTAR.

**Los interceptores**, estos interceptan o recogen las aguas residuales de las principales y colectores para trasladarla a la PTAR.

Hay elementos complementarios que tienen la finalidad de funcionar en la red de alcantarillado, para un buen mantenimiento y las condiciones óptimas, para el manejo de ellas, estos son:

- Pozos de Registros
- Sifones invertidos
- Pozos Caídas
- PTAR
- Estaciones de Bombeo
- Vertidos o Descarga
- Accesorios

**Pozos de registro.** Conocido como pozo de visita, o cámara de inspección. Es una infraestructura urbana, este elemento nos permite tener acceso, desde la superficie a instalaciones subterráneas de servicios públicos, como sistemas de tubería alcantarillado, Red de Energía Eléctrica, Telefónica y Gas.

**Sifones Invertidos.** Conductos cerrados que trabajan a presión, es decir baja una línea de pendiente hidráulica con el fin de evitar obstáculos como: una carreta, un metro o cuna corriente, vía de ferrocarril e incluso otro canal.

**Pozos de Caídas.** Son utilizados para cambios bruscos según el nivel que tenga el tramo, debido a la topografía que los tubos que se vayan a utilizar vayan a tener pendientes que ocasionaran velocidades altas, haciendo gastos de excavación más costosos a la obra.

**Planta de Tratamiento Aguas Residuales.** Esto consiste en el proceso físico, químico, y biológico que tiene como fin eliminar los contaminantes, (Fenómenos de Transporte y manejo de fluidos), presentes que posee el agua por el uso del ser humano.

**Estaciones de Bombeo.** Son conjuntos de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que captan el agua directa o indirectamente de la fuente y esta es impulsada a un almacenamiento o red de distribución. Esta consta de una o varias bombas con sus correspondientes pozos de bombeo, tuberías de succión y descarga. Tiene el propósito de facilitar el preciado líquido, para poder ser transportado mediante un conducto a presión, desde menor cota a mayor cota.

**Vertidos o Descarga.** Cantidad de agua que debe ser evacuado por medio de vertederos, esto cuando la capacidad sobrepasa el máximo almacenamiento, especialmente en la temporada de lluvia.

**Accesorios.** Son piezas construidas para las unidades de tubos mediante proceso de moldeadoras, mecanizadas que forman líneas estructurales de tuberías, para una planta de proceso, los accesorios vienen a dar un soporte importante con sus especificaciones nominales de la tubería con su nombre y material por utilizar.

### **3.10 Resumen de Diseño Alcantarillado**

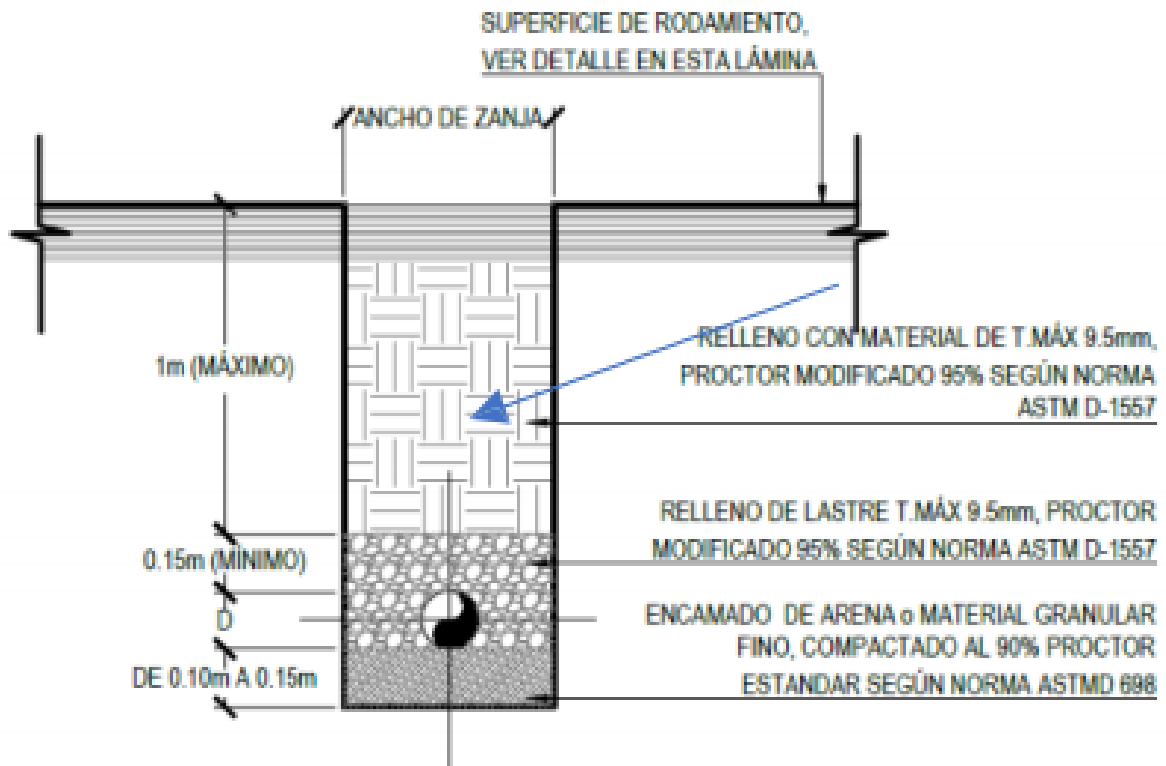
El diseño total del sistema del alcantarillado tiene un aproximado de 150 tramos por los 4 distritos, pero por recomendación del Ingeniero de San Mateo se empezaría la construcción en el distrito centro del cantón de San Mateo del cual consta con una totalidad de 11 tramos que suman un aproximado de 1.1 km de tubería.

Ilustración resumen diseño alcantarillado

Resumen del Diseño Alcantarillado Sanitario	
Parámetro	Valor
Período de Diseño	30 Años
Población de Diseño	60.6 persona x tramo
coeficiente de retorno	0.8
Diámetro Mínimo	0.015 m
N de Mannig	0.010
Distancia Máxima entro pozos	120 m
Velocidad Máxima Permitida	5 m/s

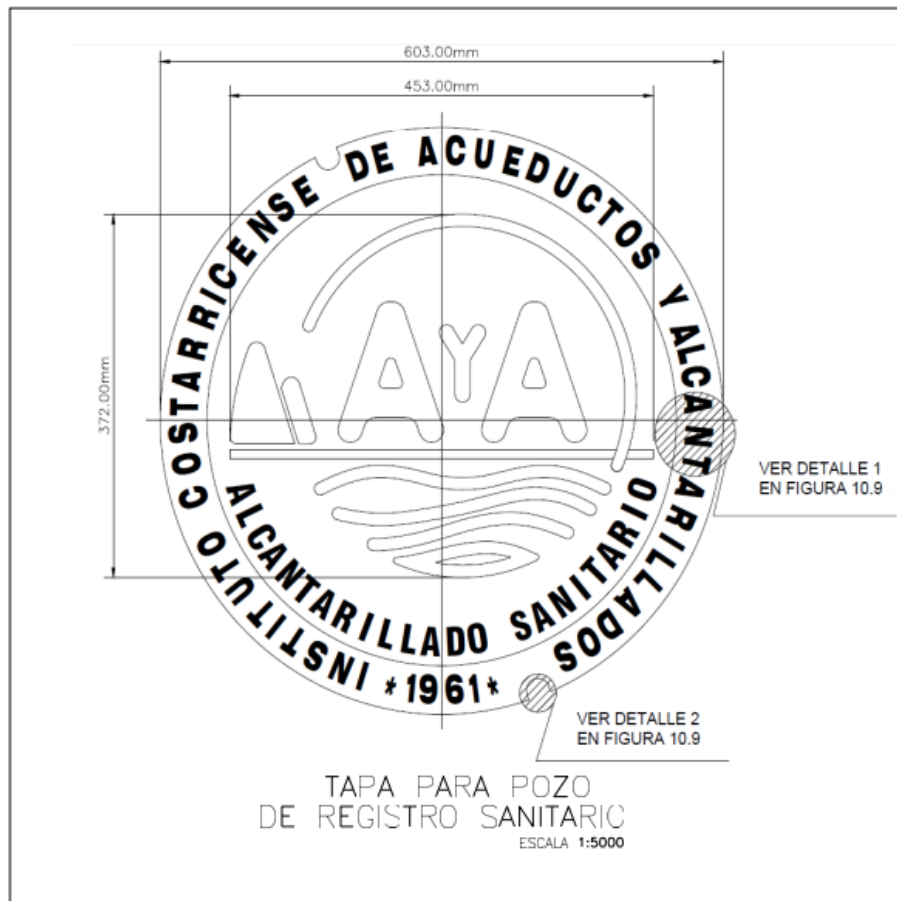
Fuente: Propias de Autor

### Ilustración Detalle sección de Tubería



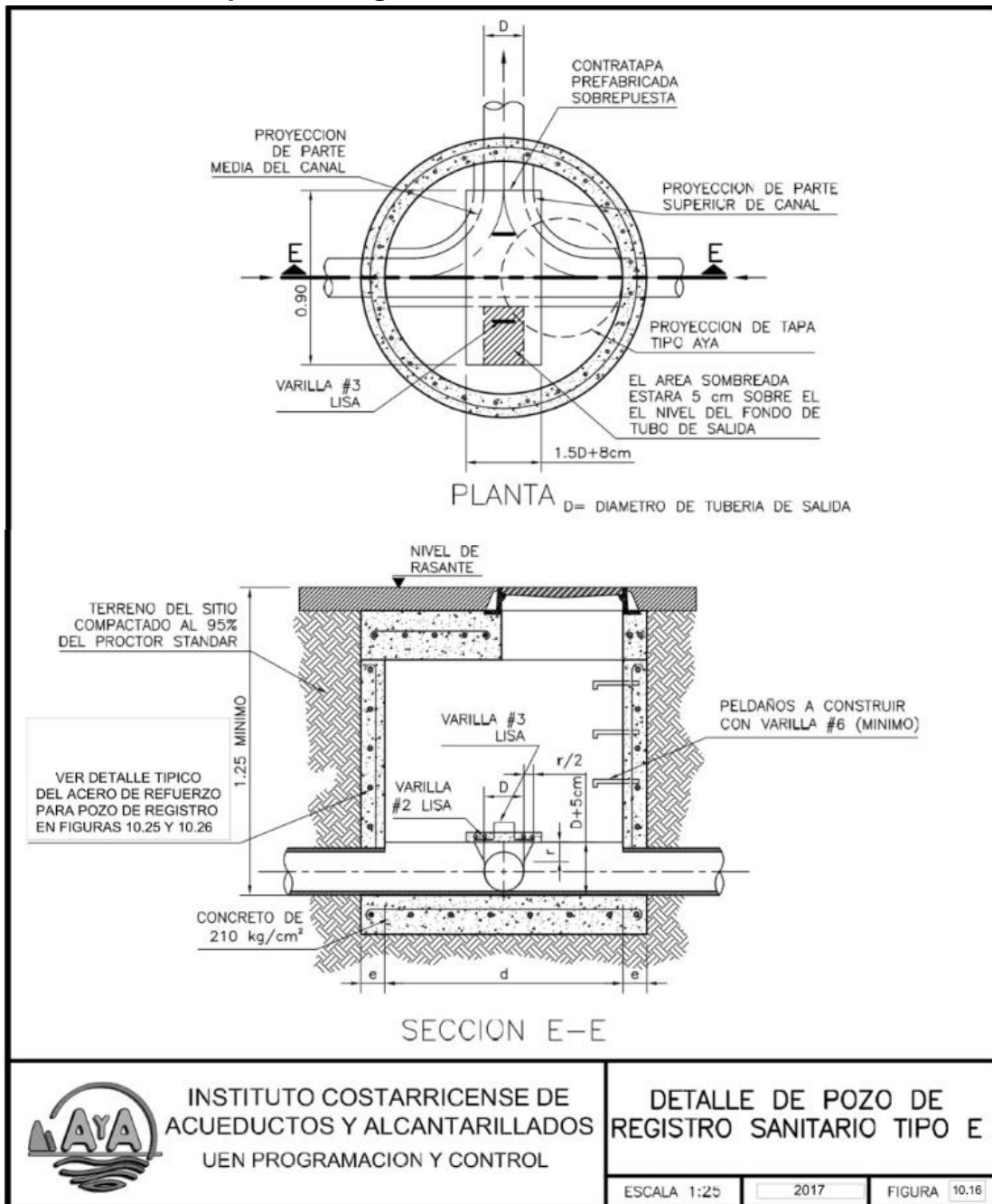
Fuente: (UNOPS , 2019)

### Ilustración Detalle de tapa para pozo de alcantarillado



Fuente: Reglamento de normas técnicas AyA (AyA, 2017)

Ilustración Detalle pozo de registro



Fuente: Reglamento de normas técnicas AyA (AyA, 2017)

Los detalles como la sección de tubería, tipo de tapa alcantarillado y pozo de registro, son normas técnicas del AyA, donde indican las especificaciones técnicas para la construcción del diseño.

### **3.11 Propuesta para diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales**

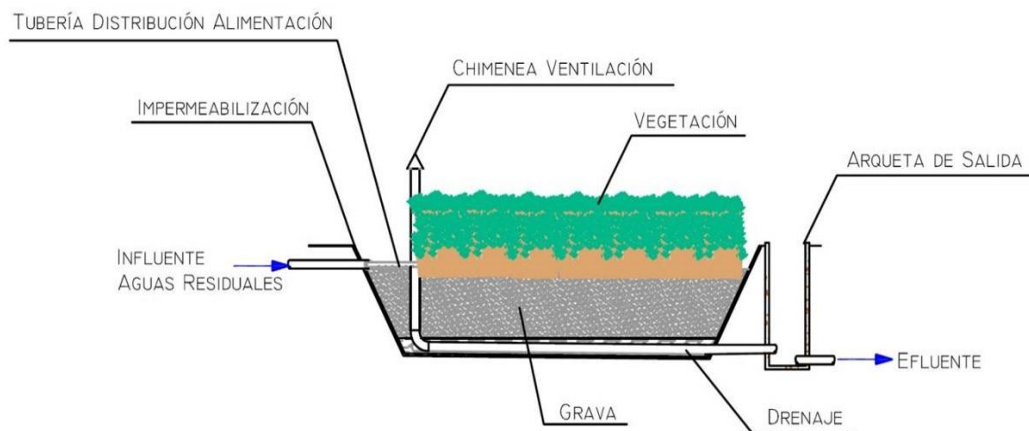
El sistema consiste en un filtro biológico relleno de un medio poroso (piedra caliza) en el cual las plantas carrizo o fragmitis (*phragmites australis*) que es una especie de caña que se siembra en la superficie del lecho y las aguas residuales atraviesan de forma horizontal a través del lecho filtrante hasta la superficie de recolección del efluente, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie granular. Este es un sistema que corresponde al tipo biológico aerobia, que consiste en un campo de infiltración subsuperficial. El sistema requiere procesos de sedimentación, microfiltración, reducción, biodinámica e intercambio de químicos, lo cual permite la depuración de las aguas residuales.

La biorremediación es el proceso utilizado por este sistema que consiste en detoxificar contaminantes en un medio ambiente, aprovechando la actividad metabólica de seres vivos, inicialmente este sistema se utilizó para mitigar la contaminación provocada por hidrocarburos, debido a la explotación petrolera en Colombia.

El sistema consiste en 3 etapas:

1. La primera etapa, es eliminar la mayor cantidad de sólidos presentes en el efluente, en medio de un canal con rejillas de refinamiento y un tanque sedimentador.
2. La segunda etapa corresponde al humedal, donde ocurren todos los procesos biológicos para depurar el agua.
3. La tercera etapa, correspondería al cuerpo receptor de agua.
4. Hay dos tipos de humedales horizontales y verticales.

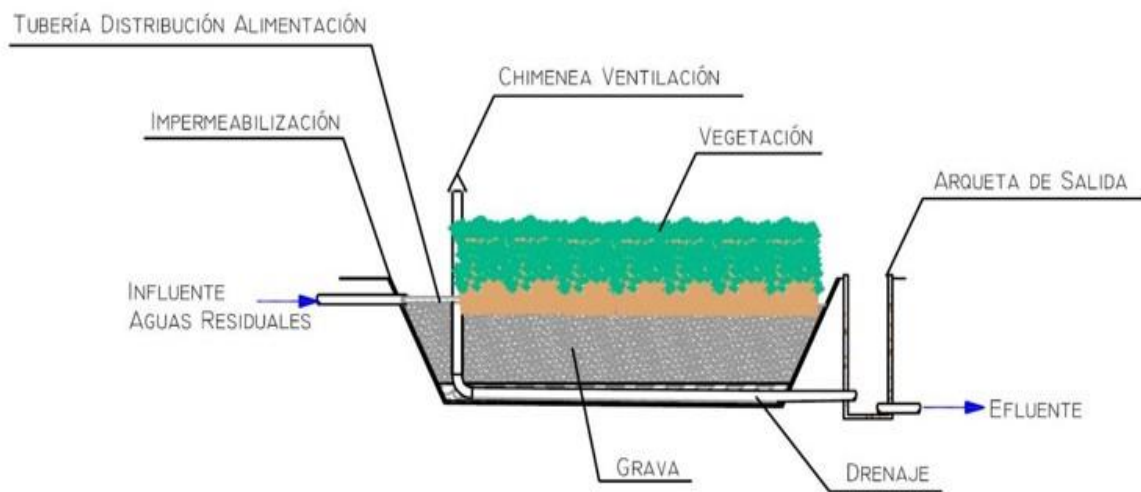
En los Humedales Horizontales la alimentación se efectúa habitualmente de forma continua, aunque también pueden funcionar de forma intermitente, si fuese necesario bombear las aguas residuales. Las aguas circulan horizontalmente, atravesando un sustrato filtrante de gravilla-grava de unos 0,6 m de espesor, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales, una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento, que suele mantenerse unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles.



**Fuente: Sección longitudinal de un Humedal Artificial de Flujo Horizontal.**  
(Salas, 2018)

En los Humedales Artificiales de Flujo Vertical la alimentación se efectúa de forma intermitente, para lo que se recurre generalmente al empleo de bombes (comandados por temporizadores o boyas de nivel) o, cuando la topografía lo permite, a sifones de descarga controlada. Para la distribución del agua sobre la superficie de filtración se recurre últimamente al empleo de tuberías que se apoyan en pivotes repartidos por toda la superficie, con un punto de alimentación cada 25-30 m<sup>2</sup> de superficie del humedal. Las aguas circulan verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla-grava, del orden de 1 m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo de estos humedales una red de drenaje permite la recogida de los efluentes depurados. A esta red de drenaje se conectan un conjunto

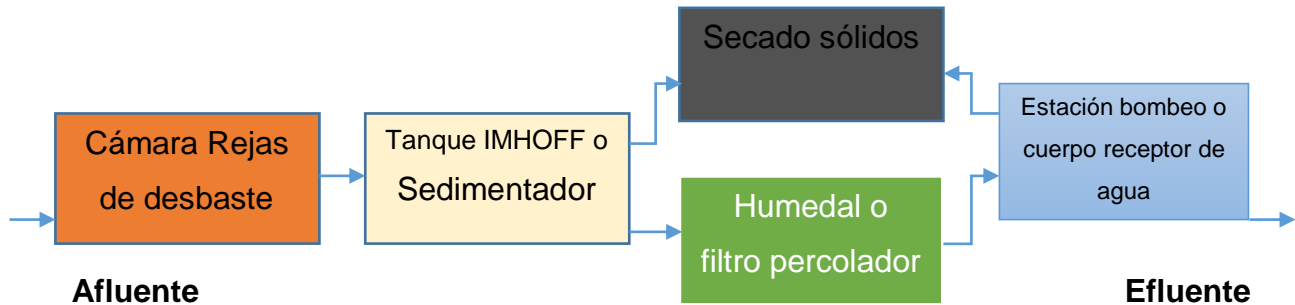
de conductos, que sobresalen de la capa de áridos, al objeto de incrementar la oxigenación del sustrato filtrante por ventilación natural (efecto chimenea). La aportación de oxígeno por las raíces de las plantas, en este tipo de humedales, es pequeña en comparación con los aportes a través de la alternancia de los periodos de inundación y secado y del sistema de ventilación. El grado de inundación, temporal o permanente, confiere propiedades muy diferentes a los Humedales de Flujo Vertical y Horizontal, afectando, principalmente, a la transferencia de oxígeno y, por ende, al estado de óxido-reducción del humedal. Los Humedales de Flujo Horizontal operan fundamentalmente en condiciones anaerobias, produciendo efluentes con ausencia de oxígeno disuelto, mientras que en los de Flujo Vertical, pese a operar con cargas orgánicas superiores, imperan condiciones aerobias, dando lugar a efluentes bien oxigenados y libres de olores.



**Fuente:** *Sección longitudinal de un Humedal de Flujo Vertical* (Salas, 2018)

### 3.12 Componentes y Procesos para una planta de tratamiento

#### Esquema: Planta Tratamiento de Aguas Residuales o Negras



Fuente: Elaboración Propia, Autores, Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

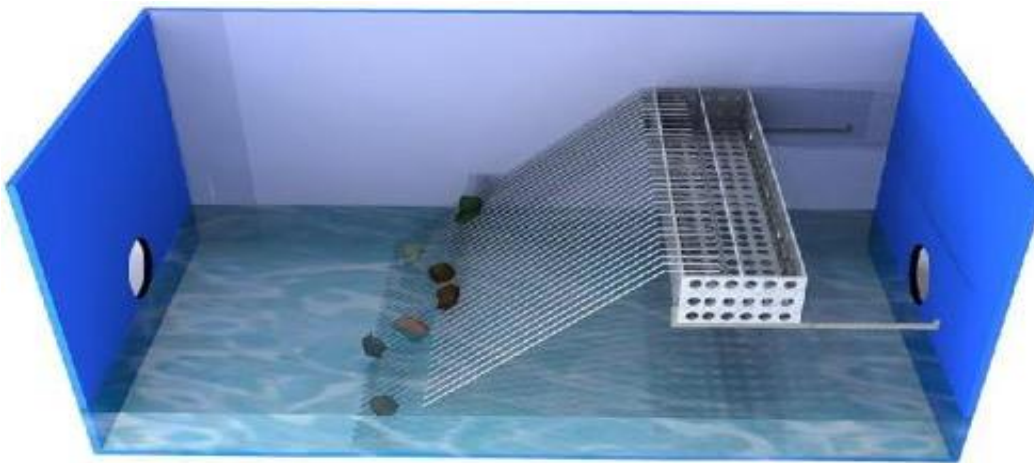
## DESCRIPCIÓN DE LOS DISEÑOS DEL COMPONENTE DE LA PTAR.

### 3.13 Primera etapa “Separación de Sólidos”

#### 3.13.1 Cámara Rejas de desbaste.

El desbaste tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada de grandes objetos que puedan provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación o dificultar los restantes tratamientos. Este permite separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes, o complicar la realización de los mismos, y consiste en eliminar componentes sólidos del agua por medio de rejas que están formadas por barrotes paralelos. Es conocido también como cribado, su principal función es separar los elementos flotantes de gran tamaño como bolsas plásticas, trozos de madera, ropa, ramas y entre otros por medio de unas rejillas

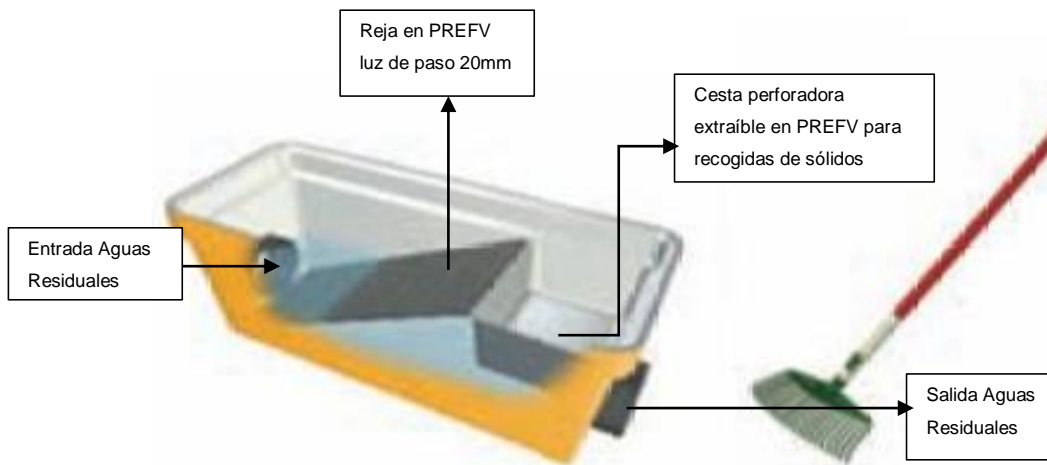
metálicas en las que el agua residual pasa a través de ellas, diseñadas de diferentes tamaños para cada caso en específico. Estos elementos deben ser separados correctamente para que no afecten los diferentes procesos que conlleva una planta de tratamiento de aguas residuales. Estas se pueden clasificar según el tipo de limpieza ya sea manual o mecánica. En este caso se utilizaron rejillas de desbaste manual ya que son instaladas en plantas de tratamiento de no muy gran tamaño y tienen un costo de operación menor.



Fuente: Rejas de Desbaste (Caldes, 2018) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

### **3.13.2 Rejillas de limpieza manual**

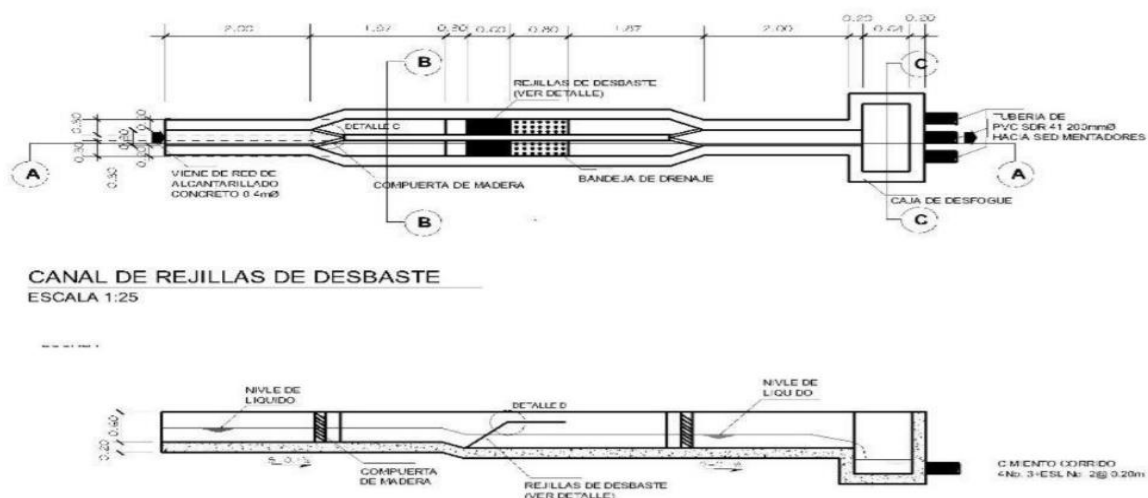
Las más utilizadas, tienen un sistema de limpieza mecánico. El usuario deberá limpiar periódicamente la reja manualmente con un rastrillo y eliminar los sólidos atrapados. La distancia libre entre los barrotes es de 1,5 a 5,0 cm y tienen un ángulo entre 30° a 60° con respecto a la horizontal. Su limpieza es realizada mediante un operario que, con la ayuda de una herramienta dentada similar a un rastrillo, remueve los sólidos que son retenidos en la rejilla y los coloca en una lámina perforada que se encuentra en la parte superior de las rejillas, para escurrir los restos de agua residual y luego estos son extraídos y llevados a un relleno sanitario.



Fuente: Rejas de Desbaste (Caldes, 2018) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

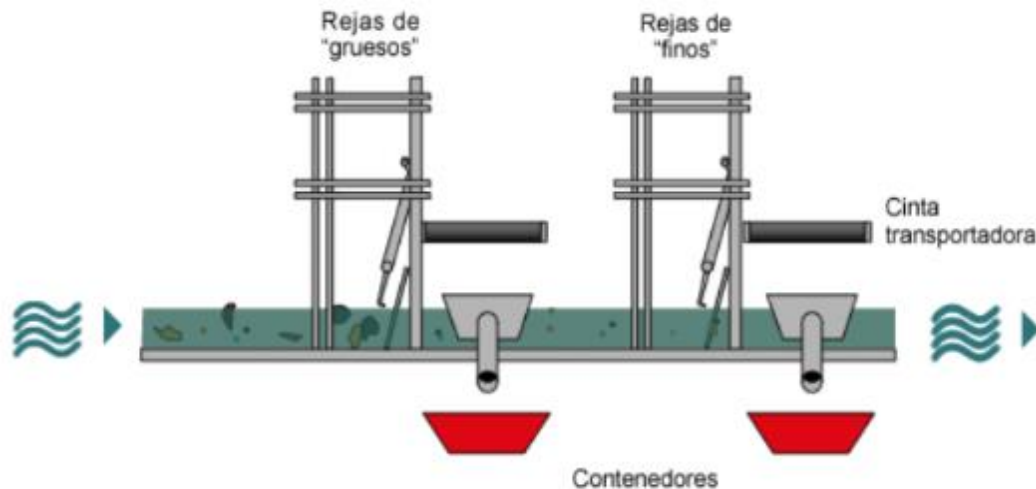
### 3.13.3 Diseño de rejillas de desbaste manual

Los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de las rejillas (Lozano-Rivas 2012.). Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)



Fuente: Elaboración Propia los Autores Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

Corte de un sistema de desbaste usando rejillas (gruesa y fina) de limpieza mecánica •



Fuente: Autores (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

### 3.14 Clasificación de las rejillas de desbaste

Las rejillas pueden clasificarse según: en Manual o Mecánica: su separación entre barrotes es:

1. Fina: entre 0,5 y 1,5 cm de separación
2. Media: entre 1,5 y 5,0 cm de separación
3. Gruesa: mayor a 5,0 cm de separación
4. Tamaño de los barrotes anchura 0.6 y 1.5 cm, profundidad 2.5 y 7.5 cm

Su Inclinación son:

5. Verticales: a 90° respecto de la horizontal
6. entre 60 y 80° respecto de la horizontal

El tamaño de los barrotes usados en las rejillas, dependerá del tamaño de los materiales que se pretende retener, con el fin de que sean lo suficientemente fuertes para que no se deformen. Para rejillas gruesas se usan barrotes de entre ½ y 1 pulgada (1,3 a 2,5 cm) de diámetro (o de ancho) y para las finas, de entre ¼ y ½ pulgada (0,6 a 1,3 cm). (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

Para los criterios de diseño para rejillas de desbaste, existen estos parámetros y una ecuación, que una vez definido el ancho del canal, espacio entre barrotes y ancho de barrotes, podremos calcular el área en la zona de rejillas que se define con la siguiente expresión: **Ecuación No. 1**

$$AR = Bc * \frac{L}{L + b} * \left(1 - \frac{G}{100}\right)$$

Donde:

AR área útil del canal en la zona de la rejilla (m<sup>2</sup>)

Bc ancho del canal (m)

L luz o espacio entre barrotes (m)

b ancho de los barrotes (m)

G grado de colmatación (usualmente se adopta un valor de 30%)

<b>Tabla : Criterios de diseño para rejillas de desbaste</b>	
<b>Parametros</b>	<b>Valores</b>
Velocidad mínima de paso	0.6 m/s (a caudal medio)
Velocidad máxima de paso	1.4 m/s (a caudal punta)
Grado de colmatación estimado entre intervalos de limpieza	30%
Pérdidas de carga máxima admisible	15Cm ( a Caudal medio)

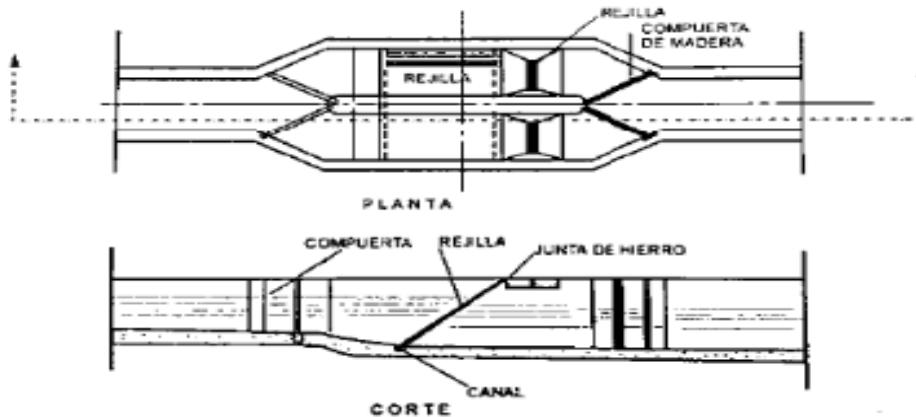
Fuente (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012):

**Valores de la ecuación No. 1**

Nomenclatura	Nombre	Valor
AR	Area Util canal zona Rejilla (m <sup>2</sup> )	0.31
Bc	Ancho del Canal (m)	0.30
L	Luz o espacio entre barrotes (m)	0.2
b	Ancho Barrotes (m)	0.015
G	Grado colmacion 30%	30%

Fuente: (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

Debido a que los barrotes restan área útil del canal, incrementando la velocidad del flujo entre la rejilla, se hace necesario, en ocasiones, incrementar el ancho del canal en la zona donde está ubicada la criba o aumentar la profundidad (Ilustración 11).



**Ilustración 11. Zona de rejillas (Romero Rojas, 1999)**

Fuente: Romero Rojas, 1999 Citado por (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

Para estimar el ancho o la profundidad en la zona de la rejilla, se puede emplear la siguiente expresión: **Ecuación No. 2**

$$P = Q * \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) * Vp * L * Bc}$$

Donde:

P profundidad en la zona de rejillas (m)

Q caudal de aguas residuales (m<sup>3</sup>/s)

Vp velocidad de paso entre la rejilla (m/s)

**Valores de la ecuación No. 2**

Nomenclatura	Nombre	Valor
P	Profundida zona Rejillas (m)	0.40
Q	Caudal Aguas residuales (m <sup>3</sup> /s)	26.33
Vp	Velocidad Paso Entre Rejilla (m/s)	0.60
Bc	Ancho del Canal (m)	0.30
L	Luz o espacio entre barrotes (m)	0.2
b	Ancho Barrotes (m)	0.015
G	Grado colmacion 30%	30%

Fuente: (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

La pérdida de carga generada por la rejilla (diferencia de altura de la lámina de agua antes y después del paso por la rejilla se puede calcular con esta expresión:

**Ecuación No. 3**

$$\Delta H = \frac{Vp^2}{9.1}$$

Donde:

$\Delta H$  pérdida de carga generada por la rejilla (m)

Vp velocidad de paso del agua a través de la rejilla (m/s)

### Valores de la ecuación No. 3

Nomenclatura	Nombre	Valor
$\Delta H$	pérdida de carga generada por la rejilla (m)	0.04
$V_p$	Velocidad Paso Entre Rejilla (m/s)	0.60

Fuente: (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

El cálculo de los barrotes se saca de la siguiente expresión: **Ecuación No.4**

$$N = \frac{BR - L}{b - L}$$

Donde:

- N número de barrotes
- BR ancho del canal en la zona de rejilla (m)
- L luz o espacio entre barrotes (m)
- b ancho de los barrotes (m)

### Valores de la ecuación No. 4

Nomenclatura	Nombre	Valor
N	Numero de Barrotes	13
BR	Ancho Canal en la zona Rejilla (m)	0.30
L	Luz o espacio entre barrotes (m)	0.2
b	Ancho Barrotes (m)	0.015

Fuente: (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)

Nota: Para la cantidad de sólidos retenidos según el tipo de rejillas según Lozano-Rivas es de:

Para una rejilla fina es de 5 a 12 ml/d\*hab

Para una rejilla gruesa es de 12 a 25 ml/d\*hab

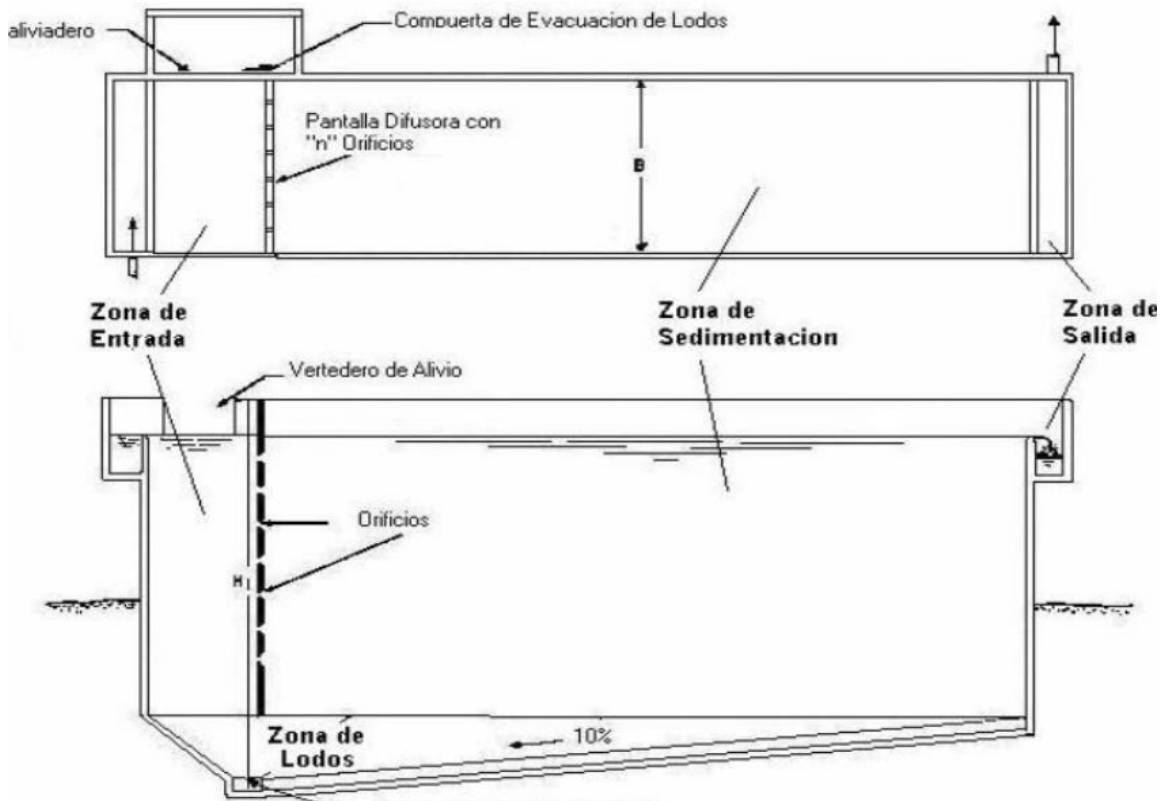
### 3.15 Sedimentador

La sedimentación se presenta de diferentes maneras dependiendo de la temperatura, del tipo de partículas presentes, de su concentración en el agua, del tipo de sedimentador y de la zona de la unidad en donde ocurre ese fenómeno. Es donde llega el caudal de las aguas por tratar, consiste en un tanque, que se encarga de separar los sólidos y los objetos no biodegradables por medio de la acción de la gravedad ya que las partículas tienen un peso mayor al del agua, lo que provoca que se acumulen en fondo del sedimentador y estos tienen que ser canalizados a un lecho de secado. Este proceso es importante, debido a que niveles elevados de turbiedad esto puede perjudicar los procesos biológicos en el humedal, afectando la calidad del efluente.

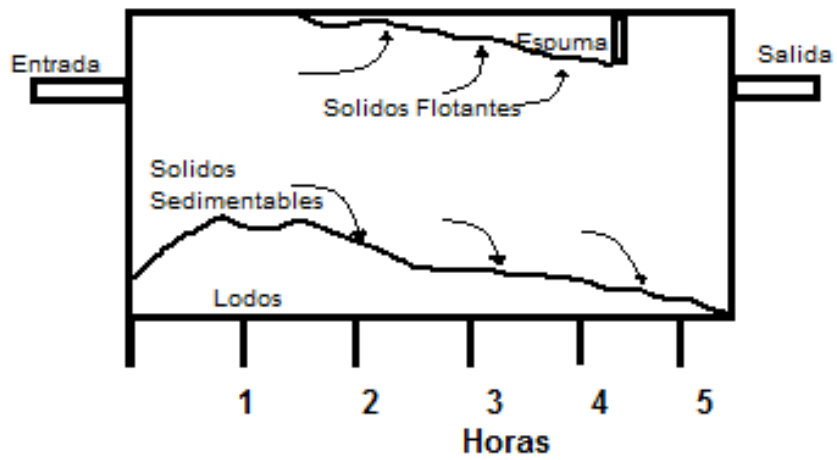
Estos tipos de sedimentación pueden apreciarse en la Tabla siguiente:

Tipos de Sedimentación	Características de sólidos	Características de sedimentación	Tipos de unidades tratamiento
De partículas discretas	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas	Cada partícula sedimenta de forma independiente sin interacción entre ellas ni con el fluido que las contiene	Desarenadores, dársenas de sedimentación o pre sedimentadores
De partículas floculentas	Partículas (coloides) floculentas o aglomerables	Las partículas se van aglomerando formando coágulos o flocúlos de mayor tamaño y peso	Sedimentadores de agua potable (con coagulación-floculación previas) y decantadores de aguas residuales
Zonal o interferida	Suspensiones de sólidos aglomerables de concentración intermedia	La sedimentación es interferida dada la cercanía entre partículas y se comportan como un bloque	Sedimentadores y decantadores de flujo ascendente y de manto de lodos
Por compresión	Suspensiones de alta Concentración	Las partículas están en contacto íntimo entre ellas y su peso forma una masa compactada en el fondo de las unidades	Compactación de lodos en sedimentadores y en unidades de espesamiento de aguas residuales

Fuente: (WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, 2012)



Fuente (Sslud, 2005)



### **3.15.1 Zona de Entrada**

La entrada del agua a los sedimentadores debe ser realizada por un dispositivo hidráulico capaz de distribuir el caudal uniformemente a través de toda la sección transversal, disipar la energía que trae el agua y garantizar una velocidad longitudinal uniforme, del igual intensidad y dirección.

### **3.15.2 Zona de Sedimentación**

Debe constar de una cámara con volumen y condiciones de flujo adecuados que permitan la sedimentación de las partículas. No debe contener ningún elemento que interfiera el paso del flujo de esta zona.

### **3.15.3 Zona de salida**

Debe estar constituida por vertederos, canales o tubos con perforaciones.

### **3.15.4 Zona de Recolección de Lodos**

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para evacuación periódica.

### **3.15.5 Tiempo de detención**

La unidad debe diseñarse de forma que permita un tiempo de detención entre 2 horas y 4 horas.

### **3.15.6 Velocidad de flujo**

El sedimentador de flujo horizontal debe diseñarse de forma que permita una velocidad horizontal del flujo de agua de máximo 1 cm/s.

### **3.15.7 Altura del agua**

La altura del nivel del agua debe estar entre 4 metros y 5 metros.

### 3.15.8 Pendiente longitudinal

La pendiente longitudinal del fondo debe ser mayor al 2%.

### 3.16 Diseño de Sedimentador

### 3.17 Parámetros de diseño sedimentador

Para determinar los parámetros de diseño del sedimentador se tuvieron que realizar una serie de cálculos, la velocidad de sedimentación de una micropartícula rígida, lisa, de forma esférica, en un fluido viscoso del tipo newtoniano, fue modelada matemáticamente por la ley de Stokes en 1850, descrita de la siguiente ecuación No. 5, (Irne Alejandro Manrique Prieto, 2016) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018)

#### 3.17.1 Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{g}{18} * \left( \frac{\rho_1 - \rho}{\vartheta_c} \right) * dp^2$$

Donde:

$V_s$  Velocidad de sedimentación (cm/s)

$\rho_1$  densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho$  densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)

$dp^2$  diámetro de partículas (cm)

$g$  aceleración de gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

$\vartheta_c$  viscosidad del fluido (cm<sup>2</sup>/s).

**Valores de la ecuación No. 5**

Sedimentador			
Velocidad de sedimentación			
<b>Fórmula:</b> $V_s = \frac{g}{18} * \left( \frac{\rho_1 - \rho}{\vartheta_c} \right) * dp^2$			
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Velocidad de sedimentación	Vs	3.59	cm/s
Aceleración de la Gravedad	g	980	cm/s <sup>2</sup>
Densidad de la partícula	$\rho_1$	2.65	g/cm <sup>3</sup>
Densidad de fluido	$\rho$	1	g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad del fluido	$\vartheta_c$	0.01	cm <sup>2</sup> /s
Diámetro de partículas	dp <sup>2</sup>	0.02	cm

Fuente: Elaboración Propia (Según Ley de Stokes), (Irne Alejandro Manrique Prieto, 2016) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018).

**El resultado de la velocidad de sedimentación (Vs) es de 3.59 cm/s**

**3.17.2 Número de Reynolds**

El número de Reynolds sirve para determinar el comportamiento de un fluido, es decir, para determinar si el flujo de un fluido es laminar o turbulento. El flujo es laminar cuando las fuerzas viscosas, que se oponen al movimiento del fluido, son las que dominan y el fluido se mueve con velocidad suficientemente pequeña y en trayectoria rectilínea, y se aplica la ecuación No.6

$$Re = \frac{V_s * d}{\vartheta_c}$$

Donde:

Re Número de Reynolds

Vs Velocidad de sedimentación (cm/s)

d diámetro de partículas (cm)

$\vartheta_c$  viscosidad del fluido (cm<sup>2</sup> /s)

### Valores de la ecuación No. 6

Numero de Reynolds			
Fórmula:	$Re = \frac{V_s * d}{\eta}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Numero de Reynolds	Re	7.19	~
Velocidad de sedimentación	Vs	3.59	cm/s
Viscosidad del fluido	$\eta$	0.01	cm <sup>2</sup> /s
Diámetro de partículas	d	0.02	cm

Fuente: Elaboración Propia (Según Ley de Stokes), (Irne Alejandro Manrique Prieto, 2016) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018).

**Realizando la fórmula de número de Reynolds se obtiene el resultado 7.19**

#### 3.17.3 Coeficiente CD o de arrastre

Una relación de la fuerza de resistencia que frena un objeto que se desplaza a través de un fluido como el agua o el aire, está en función del número de Reynolds. En la región de flujo laminar o Región de Stokes, y la ley de Allen Ecuación No. 7

$$Cd = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34$$

Donde:

CD Coeficiente de arrastre (Zona de Transición)

R Número de Reynolds

**Valores Ecuación No. 7**

Coeficiente CD (Ley de Allen)			
Fórmula:	$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0,34$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Coeficiente de arrastre (zona de transición)	CD	4.80	~
Número de Reynolds	R	7.19	~

Fuente: Elaboración Propia (Según Ley de Stokes), (Irne Alejandro Manrique Prieto, 2016) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018). El Coeficiente es de 4.80

### 3.17.4 Velocidad real de sedimentación

La partícula que supondremos discreta y esférica se encuentra sometida a la acción gravitatoria, por lo que estará solicitada por una fuerza que le imprimirá un movimiento vertical uniformemente acelerado. Esa fuerza que denominaremos "activa", mediante la ley de Newton de la ecuación No.8

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_d * \varphi} * (P_p - P_f) * d}$$

Donde:

$V_{sr}$  Velocidad real de sedimentación (cm/s)

$P_p$  densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)

$P_f$  densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)

$d$  diámetro de partículas (cm)

$g$  aceleración de gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

$\varphi$  Coeficiente flocular (~)

$C_d$  Coeficiente de arrastre (zona de transición) (~)

#### Valor de la ecuación No. 8

Velocidad real de sedimentación			
<p>Fórmula: <math display="block">V_{SR} = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D * \varphi} * (\rho_p - \rho_f) * d}</math></p>			
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Velocidad real de sedimentación	$V_{SR}$	0.67	cm/s
Densidad de la partícula	$P_p$	2.65	g/cm <sup>3</sup>
Densidad de fluido	$P_f$	1	g/cm <sup>3</sup>
Aceleración de la Gravedad	$g$	980	cm/s <sup>2</sup>
Diámetro de partículas	$d$	0.02	cm
Coeficiente de arrastre (zona de transición)	$C_D$	4.80	~
Coeficiente flocular	$\varphi$	20	~

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018). La VSR es de 0.67 cm/s

### 3.18 Dimensionamiento del Sedimentador

### 3.19 Área superficial del sedimentador

La carga Superficial es un concepto muy utilizado en el diseño de un sedimentador y se basa en el siguiente principio: La velocidad del flujo de agua es menor a la velocidad de sedimentación de los sólidos. El diseño de un tanque sedimentador es basado en la velocidad sedimentación de las partículas suspendidas, el que nos indica la velocidad de sedimentación teórica a partir de la cual las partículas serán removidas por la estructura. Según ecuación No. 9

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

Donde:

As Área superficial del sedimentador (m<sup>2</sup>)

Qmd Caudal medio diario (m<sup>3</sup>/día)

Cs Carga Superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día)

#### Valor de la ecuación No. 9

Area superficial del sedimentador			
Formula:	$A_s = \frac{Q}{C_s}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Area superficial del sedimentador	As	52.09	m <sup>2</sup>
Caudal medio diario	Q	1823	m <sup>3</sup> /día
Carga superficial	Cs	35	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018). Se obtiene según la ecuación un As es de 52.09 m<sup>2</sup>.

### 3.19.1 Dimensiones en su base y longitud del sedimentador

Los valores para calcular las dimensiones del sedimentador se definen mediante la siguiente Ecuación, a través de los datos proporcionados en el cuadro.

$$B = \sqrt{\frac{As}{4}} \quad \text{Donde: } As \text{ Área Superficial del sedimentador}$$

B Base

#### Valor de la ecuación No. 10

Dimensiones del sedimentador			
Formula: $b = \text{raiz } As/4$		$B = \sqrt{\frac{As}{4}}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Base	B	0.94	m
Asuperficial del sedimentador	As	3.52	m <sup>2</sup>
Longitud (L= 4B)	L	3.8	m
Altura (5<L/H<20)	H	2	m

Fuente.: Elaboración Propia autor (Andrés Vicenta Muñoz, 2018) Citado por citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018).

Una vez realizada esta fórmula se obtiene que la base es de 0.94 m, una longitud de 3.8 m, una altura de 2 m con un área requerida para el sedimentador de 6.74 m<sup>2</sup>.

### 3.19.2 Velocidad Horizontal

Existe una velocidad horizontal por encima de la cual se produce arrastres de las partículas que ya ha sedimentado. Por tanto, debemos hacer que la velocidad horizontal sea menor que la velocidad de arrastre. Para flóculos de sulfato de aluminio o de hierro, la velocidad horizontal debe ser menor de 0.5 cm/s para que no se produzca arrastre.  $V_h \leq 0.5 \text{ cm/s}$ . En toda planta debe haber por lo menos dos unidades de sedimentación, de forma que cuando se saque de servicio una, ya sea por lavado o reparación, se pueda seguir trabajando con la otra. Se utiliza la siguiente Ecuación No. 11 para determinar la velocidad horizonte. (Parra, 1981)

$$V_H = \frac{100 * Q_{med}}{B * H}$$

Donde:

VH Velocidad Horizontal (m/s)

Qmd Caudal medio diario (m3/día)

B Base (m)

H Altura (m)

**Valor de la ecuación No. 11**

Velocidad Horizontal			
Formula	$V_H = \frac{100 * Q_{med}}{B * H}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Velocidad Horizontal	V <sub>H</sub>	1.12	m/s
Caudal medio diario	Q	0.0211	m3/s
Base	B	0.94	m
Altura (5<L/H<20)	H	2	m

**Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) citado por (Armando Mata D’Avanzo, 2018). Se obtiene según la ecuación un Vh es de 1.12 m/s.**

**3.19.3 Velocidad de arrastre**

Es importante en las operaciones de sedimentación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En las redes de alcantarillado, es necesario mantener velocidades elevadas para que las partículas no sedimenten. En los tanques de sedimentación las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. Los valores para comprobar la relación de velocidad y dimensiones se definen mediante la siguiente

ecuación No. 12,

$$V_d = \sqrt{\frac{8 * k * g * (P_p - P_f)}{f}} * d$$

Donde:

V<sub>d</sub> Velocidad de Arrastre (Cm/s o M/s)

K Factor de Forma (unigranulares no adheribles) (~)

P<sub>s</sub> densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)

P<sub>f</sub> densidad del fluido (g/cm<sup>3</sup>)

d diámetro de partículas (cm)

g aceleración de gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

f Factor de fricción de Darcy-Weisbach (~)

### Valor de la ecuación No. 12

Velocidad de arrastre			
Fórmula	$V_d = \sqrt{\frac{8k * g * (\rho_s - \rho_f) * d}{f}}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Velocidad de arrastre	V <sub>d</sub>	20.35	cm/s
Factor de forma (ingranulares no adheribles)	k	0.04	~
Densidad de la partícula	P <sub>p</sub>	2.65	g/cm <sup>3</sup>
Densidad de fluido	P <sub>f</sub>	1	g/cm <sup>3</sup>
Aceleración de la Gravedad	g	980	cm/s <sup>2</sup>
Diámetro de partículas	d	0.02	cm
Factor de fricción de Darcy-Weisbach	f	0.025	~

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.12 un V<sub>d</sub> es de 20.35 cm/s o 0.2035 m/s.

### 3.19.4 Área total de orificios en la pantalla difusora

El área total de los orificios  $A_o$  [m] se determina como una relación entre el gasto  $Q$  y la velocidad de paso en orificio ( $V_o$ ) en la ecuación 13, para calcular el área total de orificios en la pantalla difusora.

$$A_o = \frac{Q_{med}}{V_o}$$

Donde:

$A_o$  Área Total de Orificios (m<sup>2</sup>)

$Q_{med}$  Caudal medio Diario (m<sup>3</sup>/s)

$V_o$  Velocidad en los orificios (m/s)

#### Valor de la ecuación No. 13

Area total de orificios			
Formula	$A_o = \frac{Q_{med}}{V_o}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Area total de orificios	$A_o$	0.211	m <sup>2</sup>
Caudal medio diario	$Q$	0.0211	m <sup>3</sup> /s
Velocidad en los orificios	$V_o$	0.10	m/s

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.13 un  $A_o$  es de 0.211 m<sup>2</sup>.

### 3.19.5 Número de orificios en la pantalla difusora

Adoptando un diámetro ( $d_o$  [m]) y un área ( $a_o$  [m]) para los orificios, se determina el número de orificio ( $n$ ) mediante una relación entre el área total ( $A_o$ ) y el área ( $a_o$ ) de cada orificio, donde los valores para calcular el número de orificios de la pantalla difusora se definen mediante la siguiente ecuación No. 4

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Donde:

N Número de orificios

Ao Área de Orificios (m<sup>2</sup>)

Ao Área total de casa orificios (m<sup>2</sup>)

#### Valor de la ecuación No. 14

Número de orificios en la pantalla difusora			
Formula	$n = \frac{A_o}{a_o}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Número de orificios	n	431	~
Area total de orificios	Ao	0.211	m <sup>2</sup>
Area total de cada orificios	ao	0.00049	m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.14 número de orificios son 431.

### 3.19.6 Altura efectiva de la pantalla difusora

Los valores para calcular la altura de la pantalla difusora se definen mediante la siguiente ecuación No. 15, a través de los datos proporcionados

$$h = H - \frac{2}{5} * H$$

Donde:

h Altura de pantalla difusora (m)

H Altura (m)

### Valor de la ecuación No. 15

Altura efectiva de la pantalla difusora			
Formula	$h = H - \frac{2}{5} * H$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Altura de pantalla difusora	h	1.2	m
Altura (5<L/H<20)	H	2	m

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.15 h 1.2 m

## 3.20 Eficiencia del sedimentador

### 3.20.1 Remoción de DBO

El suelo es un biofiltro que contiene una gran cantidad de bacterias. La remoción de DBO se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacteriana, ya que las capas superiores del suelo contienen microorganismos en abundancia. Los valores más comunes que se estiman respecto a la cantidad de microorganismos son: 107 bacterias, 106 actinomicetos y 105 hongos por gramo de tierra. Estos microorganismos son los responsables de la remoción de DBO en el agua residual aplicada. Para flujo superficial, el crecimiento bacteriano que se presenta en la capa superior del suelo y en el humus de las plantas son responsables de la remoción. Los valores para calcular la eficiencia del sedimentador en la remoción del DBO se definen mediante la siguiente ecuación No. 16, a través de los datos proporcionados.

$$R_{DBO} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$$

Donde:

$R_{DBO}$  Remoción de DBO (%)

TRH Tiempo de retención hidráulico (Horas)

a Constante empírica

b Constante empírica

### Valor de la ecuación No. 16

Eficiencia del sedimentador en la remoción de DBO			
Formula	$R_{DBO} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Remoción de DBO	RDBO	36.76	%
Tiempo de retención hidráulico	TRH	2.5	horas
Constante empirica	a	0.018	~
Constante empirica	b	0.02	~

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.16 RDBO es 36.76 %

### 3.20.2 Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST

La remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en ambos sistemas, FWS y SFS, se debe a procesos físicos y solo está influida por la temperatura a través de los efectos de la viscosidad en el flujo del agua. Dado que la distancia de sedimentación para la materia particulada es relativamente pequeña y que el tiempo de residencia del agua en el humedal es muy largo, estos efectos de la viscosidad pueden omitirse. La remoción de SST en este tipo de sistemas no es un parámetro limitante en el diseño y dimensionamiento del humedal, ya que la remoción de SST es muy rápida en comparación con la de DBO o nitrógeno.

$$R_{SST} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$$

Donde:

$R_{SST}$  Remoción de SST (%)

TRH Tiempo de retención hidráulico (Horas)

a Constante empírica

b Constante empírica

### Valor de la ecuación No. 17

Eficiencia del sedimentador en la remoción de SST			
Formula	$R_{SST} = \frac{TRH}{a + b * TRH}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Remoción de SST		58.82	%
Tiempo de retención hidráulico	THR	2.5	horas
Constante empirica	a	0.0075	~
Constante empirica	b	0.014	~

Fuente: Elaboración Propia (Rosales, 2015) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018, Se obtiene según la ecuación No.17 SST es 58.82 %.

### 3.21 Lecho de secado de lodos

El lecho de secado se encarga principalmente de deshidratar los lodos digeridos, provenientes del tanque sedimentador. Estos una vez secos, son retirados por medio de rastrillos o palas y son llevados a vertederos controlados o bien pueden ser utilizados como abono para el acondicionamiento de suelos. Unas de sus principales ventajas es que no requiere de un alto costo de mantenimiento. Se utilizará el tipo de lecho de secados pavimentados. Estos lechos están conformados por una primera capa de blocks o adoquines en los cuales son esparcidos los lodos y una segunda capa de arena y piedra de diferentes granulometrías que se encuentra bajos los adoquines. La cual se encarga de drenar los líquidos que son expulsados por los lodos hacia una tubería perforada de PVC, que se encuentra en el fondo del lecho de secados. Para el tratamiento de los lodos provenientes de los sistemas anaerobios propuestos, se plantea la utilización de lechos de secado. Dichos sistemas, tal y como se ha explicado anteriormente, se caracterizan por presentar mecanismos de retención de biomasa que permiten que los microorganismos residan dentro del reactor por un periodo de tiempo relativamente extenso (≈20-30 días), ocasionando que el lodo presente un alto grado de estabilidad al momento de ser evacuado. Por estar inmersos en agua, normalmente los lodos evacuados del tratamiento presentan una alta concentración

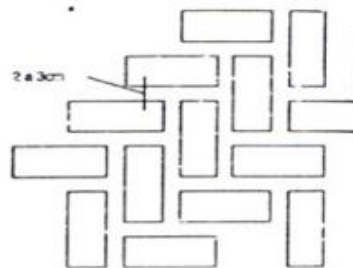
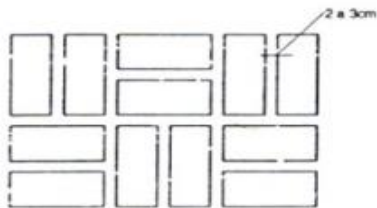
de líquido ( $\approx 95\%$ ) (von Sperlin, 1996), por lo cual es necesaria su deshidratación antes de ser dispuesto en algún tipo de relleno o de manera previa a su higienización, en caso de que este vaya a ser aprovechado para actividades agrícolas. El proceso de lechos de secado consiste en una cama o tanque rectangular, en los cuales se dispone el lodo húmedo sobre un sistema de drenaje compuesto por las siguientes etapas:

**1. Cama de soporte**

**2. Material filtrante**

**3. Tuberías de evacuación de lixiviado**

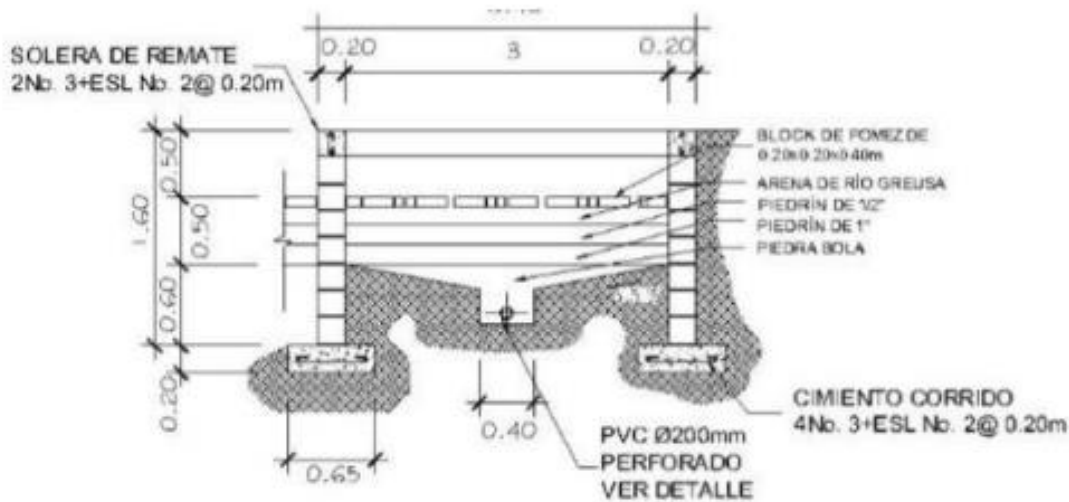
Estas capas se encuentran superpuestas de forma que la sección final está compuesta por las tuberías de evacuación. La cama de soporte generalmente se confecciona de ladrillos espaciados a una distancia de 2 o 3cm entre sí y colocado sobre una capa de arena. Sobre esta cama de soporte se dispone el lodo evacuado de cada sistema, se muestra las diferentes formas de colocar los ladrillos sobre los lechos de secado.



Fuente: Adreoli et, 2001.citado por (Corrales Chacón, 2011)

El agua contenida en el lodo filtra hacia el material de drenaje; generalmente este se compone de capas sucesivas de arenas y gravas de distinta granulometría. Los tamaños de los materiales varían desde los 0.3 mm hasta los 76 mm y se colocan de forma creciente, Finalmente el lixiviado es evacuado por el sistema de drenaje compuesto por tubos perforados con diámetros de 100 mm o mayor. Se recomienda colocar tubos a cada 3 m como máximo y deben contar con una pendiente mínima de 1% (Adreoli, von Sperling, & Fernández, 2001) citado por (Corrales Chacón, 2011),

**Cuadro del Lecho de secado sección transversal B-B, ESC 1:50**



Fuente: Elaboración Propia , los Autores , citado por (Armando Mata D’Avanzo, 2018)

**A. Parámetros de diseño para lecho de secado de sólidos**

✓ **Carga de Sólidos**

$$C = \frac{Pob * Cper}{1000}$$

Donde:

- C Carga Sólidos (Kg/ss/día)
- Pob Poblacion
- Cper Contribución percapita (grSS/hab\*día)

**Valor de la ecuación No. 18**

Cargas de Sólidos			
Formula C= (Pob*Cper)/1000	$C = \frac{Pob * Cper}{1000}$		
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Cargas de Sólidos	C	682.50	Kg.SS/Día
Población	P	9100.0	hab
Contribución percapita	Cper	75	grSS/hab/día

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D’Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.18 Cs es 682.50 Kg. SS/día.

### 3.21.1 Carga de sólidos en sedimentadores

Por lo mencionado respecto de los parámetros utilizados en la determinación de la carga de sólidos para el sedimentador secundario, se puede ver que con este criterio es posible obtener un área mínima que es capaz de satisfacer las condiciones estáticas que relacionan el diseño del estanque de aireación con los del sedimentador.

$$C_s = 54.36\% * C$$

Donde:

C<sub>ss</sub> Carga de Sólidos en Sedimentadores (Kg.ss/Día)

C Carga de sólidos (kg.ss/día)

#### Valor de la ecuación No. 19

Cargas de Sólidos de Sedimentadores			
Fórmula $C_s = 54.36\% * C$			
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Cargas de Sólidos Sedimentador	C <sub>ss</sub>	371.01	Kg.SS/Día
Cargas de Sólidos	C	682.5	Kg.SS/Día

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.19 que la remoción de sólidos es de 54.36% por lo que el porcentaje de C<sub>ss</sub> es 371.01 Kg. SS/día.

### 3.21.2 Masa de Sólidos

Todos los objetos poseen una masa, ya sea que estén en estado sólido, líquido o gaseoso. Mientras más átomos haya en un cuerpo, mayor será entonces su masa  $Mds=(0,5*0,7*0,5*C)+(0,5*0,3*C)$  (Espinoza, 2014)

#### Valor de la ecuación No. 20

Masa de Sólidos			
Fórmula $Mds=(0,5*0,7*0,5*C)+(0,5*0,3*C)$			
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Masa de Sólidos	Mds	221.81	Kg.SS/Día
Cargas de Sólidos	C	682.5	Kg.SS/Día

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.20 que la Mds es de 221.81 Kg. ss/Día.

### 3.21.3 Volumen diario de lodos digeridos

Los lodos digeridos son de color marrón oscuro, negruzco y contiene una cantidad excepcionalmente grande de gas cuando está totalmente dirigido, no es perjudicial siendo su olor relativamente débil y parecido al alquitrán caliente , goma quemada o lacre, estos cuando se extienden en eras de secado en capas de 15<sup>a</sup> 25 c, de profundidad , los sólidos son arrastrados hacia la superficie por lo gases retenidos , dejando una lámina de agua relativamente clara de aquellos que desaguan rápido permitiendo que estos se depositen lentamente sobre el lecho.

$$Vld = \frac{Msd}{Dlodo * \left(\frac{\% \text{ de Sólidos}}{100}\right)} \quad (\text{Espinoza, 2014})$$

Donde:

- Vld            Volumen de lodos digeridos (l/día)
- Msd            Masa de Sólidos (Kg. ss/día)
- Dlodo          Densidad de lodos (kg/l)
- %              Porcentaje de sólidos (%)

### Valor de la ecuación No. 21

Volumen diario de lodo digeridos			
Formula $Vld = \frac{Msd}{Dlodo * \left( \frac{\% \text{ de Sólidos}}{100} \right)}$			
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Volumen de lodo digeridos	Vld	2665.99	l/día
Masa de Sólidos	Msd	221.81	Kg.ss/día
Densidad de lodos	Dlodo	1.04	Kg/día
Porcentaje de Sólidos	%	8	%

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.21 que la Vld es de 2665.99 l/día.

### 3.22 Volumen de lodos a extraerse del taque sedimentador

El volumen de la zona de espesamiento se basa en la sedimentación prevista de los LF. No es tomado en cuenta en el diseño, pero un mayor tiempo de almacenamiento de los tanques en reposo (sin uso) antes de extraer los lodos contribuye a su mayor espesamiento y compactación. En el campo, se han observado eficiencias promedio de sedimentación de los LF de solamente alrededor de un 60 %, debido a operación y mantenimiento inadecuadas, además de la elevación de burbujas, sin embargo, se recomienda utilizar el valor de un 80 % para estimar la eficiencia máxima, Un cronograma de desalojo de nata y lodos acorde con el diseño es esencial para asegurar el debido funcionamiento de los tanques de sedimentación y espesamiento, con una profundidad efectiva adecuada para el asentamiento de las partículas. (Heinss et al., 1998).

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad (\text{Espinoza, 2014})$$

Donde:

Vel	Volumen de lodos a extraerse	m <sup>3</sup>
Vld	Volumen de lodos digeridos	l/día
Td	Tiempo de digestión	días

### Valor de la ecuación No. 22

Volumen de los extraídos del tanque sedimentro			
Fórmula Vel= (Vld*Td)/1000		$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Volumen de lodos a extraerse	Vel	101.31	m <sup>3</sup>
Volumen de lodos digeridos	Vld	2665.99	l/día
Tiempo de digestión	Td	38	días

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.22 que la Vel es de 101.31 m<sup>3</sup>.

### 3.23 Dimensionamiento

#### 3.23.1 Área de lecho de secado

Los lechos de secado son dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de los lodos para el que el resto pueda manejarse como material sólido, con un contenido de humedad inferior al 70 %.

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Donde:

Als	Volumen del Lecho de secado	m <sup>3</sup>
Vel	Volumen de lodos digeridos	m <sup>3</sup>
Ha	Profundidad de aplicación	m

### Valor de la ecuación No. 23

Área de lecho de secado			
Fórmula Als= Vel/Ha		$Als = \frac{Vel}{Ha}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Volumen del Lecho de secado	Als	253.28	m <sup>3</sup>
Volumen de lodos digeridos	Vel	101.31	m <sup>3</sup>
Profundidad de aplicación	Ha	0.40	m

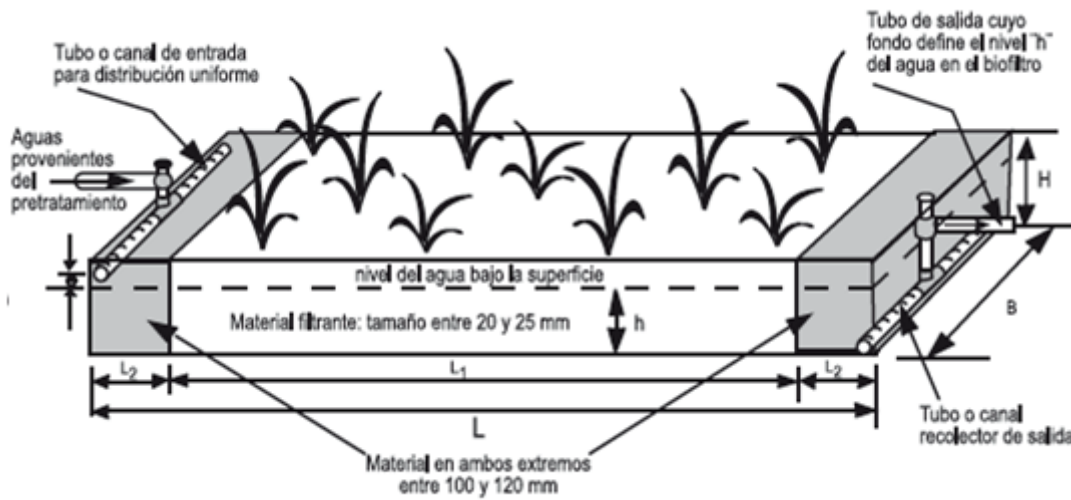
Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.23 que la Als es de 253.28 m<sup>3</sup>, para construir un aproximado de 3 lechos de sacado de 84.43 m<sup>3</sup>.

### 3.24 Humedal Artificial (secundaria y terciaria)

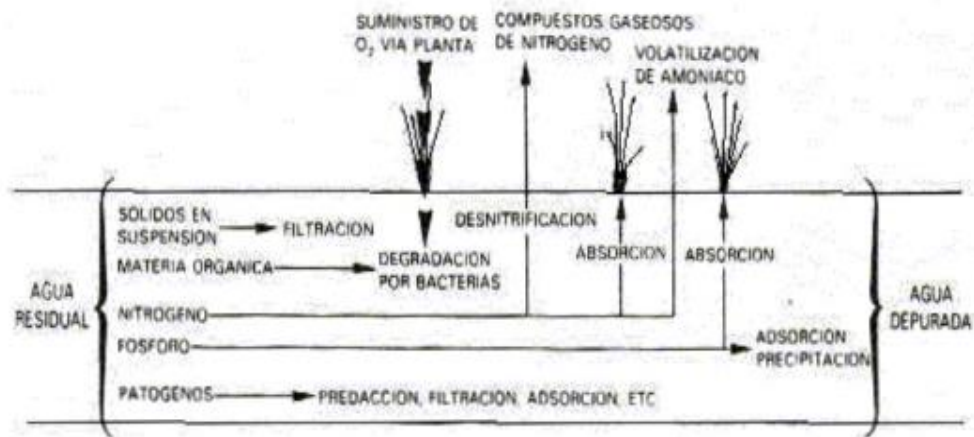
Los humedales artificiales, son una tecnología natural de tratamiento de aguas residuales, de bajo precio, eco-tecnológica y biológica, diseñada con el fin de imitar los procesos de los ecosistemas de humedales naturales, se destacan como una alternativa potencial o como un sistema suplementario para el tratamiento de aguas residuales (Stefanakis et al, 2014). El proceso secundario conlleva a utilizar métodos biológicos aerobios para oxidar y degradar compuestos orgánicos, sólidos suspendidos y nutrientes (nitrógeno o fósforo por separado o en conjunto) a través de microorganismos presentes en las aguas residuales y el complemento con plantas macrófitas (Kuklinski, 2011). El tratamiento terciario se emplea para eliminar agentes patógenos de los efluentes del proceso de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua, receptores, o bien obtener la calidad adecuada para el reúso en sistemas de riego, sin perjudicar o mantener riesgos en la salud pública. Actualmente el sistema de mayor empleo para desinfectar es la radiación UV Los humedales artificiales son zonas diseñadas y construidas por el hombre donde se generan mecanismos y procesos físicos, biológicos y químicos que tienen la capacidad para depurar el agua residual. (EPA, 1999).



Fuente: Esquema de una biojardineroa artificiales



Fuente: Esquema de una biojardineroa artificiales Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018),



Fuente: Esquema de una biojardineroa artificiales de (Jaime Lara) Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018),

Para el proyecto se utiliza la planta “carrizo” o fragmitis, (*phragmites australis*), es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas, tiene la capacidad de crecer en la superficie buscando agua, por lo que suele habitar en suelos húmedos y orillas de cuerpos de agua, esta planta puede alcanzar los 4m de altura y los 2cm de ancho.



Fuente: Planta Australiana Carrizo Ilustrativos Pág. Web Bluedale

Función de las plantas:

- A. Inyecta oxígeno: al ser una planta genéticamente modificada, tiene la capacidad de inyectar oxígeno a través de las raíces, esto ayuda a los procesos físico-químicos de las aguas.
- B. Extrae materia orgánica: esta planta usa la materia orgánica como alimento.
- C. Bactericida natural: las raíces proveen un aceite natural que elimina bacterias y patógenos que causan malos olores en las aguas.

### 3.25 Diseño Humedal

Se considera que los humedales construidos actúan como reactores biológicos, por lo que su rendimiento puede estimarse por medio de una cinética de primer orden para la remoción de DBO y nitrógeno. Se utilizaron tres métodos para determinar el diseño del área requerida para el humedal y con la aplicación de estos obtener resultados confiables. Los cuales se citan a continuación.

### 3.26 Área Superficial del humedal según método Reed

El área superficial del humedal se basa en función del parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, la mayoría de diseños se realizan para la disminución de DBO5. (5) Cabe recalcar que en nuestra Planta de tratamiento el humedal va ser el último proceso por lo que es necesario de forma teórica calcular el valor de la DBO5 en función del porcentaje removido en los procesos anteriores para con este valor realizar los cálculos del humedal. Donde se expresa por la siguiente ecuación No. 24, (Espinoza, 2014)

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_o}{C}\right)}{K_T * h * n} \quad \text{Donde:}$$

Q: caudal de diseño del humedal (m<sup>3</sup>/día)

C: concentración efluente (mg/L)

C<sub>o</sub>: concentración afluente (mg/L)

K<sub>T</sub>: constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura

h: profundidad del humedal (m)

n: porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

Ln: Logaritmo Natural

En los humedales de flujo horizontal subsuperficial, el agua debe se distribuye en un extremo del lecho, se infiltra, trasiega en sentido horizontal a través de un medio granular de relleno y entre las raíces de las plantas.

### Valor de la ecuación No. 24

Diseño de Humedal			
Fórmula AS= $(Q \cdot \ln((C_o) / C)) / (K_T \cdot h \cdot n)$		$AS = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_o}{C}\right)}{K_T \cdot h \cdot n}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Área Superficial	As	220.16	m <sup>2</sup>
Caudal de diseño	Q	26.33	m <sup>3</sup> /día
Concentración afluente	Co	750	mg/L
Concentración Efluente	Ce	25	mg/L
Constante reaccion 1er. Orden dependiente de la temperatura	KT	1.49	g/cm <sup>3</sup>
Profundidad del humedal	h	0.7	m
Porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)	n	0.39	
Logaritmo Natural	Ln		~

Diseño Factor

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018),

### 3.27 Método Crites & Tchobanoglous

La determinación de tiempo de retención teórico que tendrá el humedal puede hacerse mediante la siguiente expresión, la cual, al igual que la expresión del área superficial, se deriva del modelo de flujo pistón. Los valores para calcular el tiempo de retención del humedal son proporcionales. Una pared o capa impermeable debe rodear el humedal entero para prevenir que las aguas grises salgan antes de ser tratadas completamente. El desagüe apropiado permitirá que el agua salga del sistema después del proceso. (Crites & Tchobanoglous, 1998: 511-656)

$$T_{RH} = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_T}$$

Donde:

TRH	Tiempo de retención Hidráulica	días
Co	Concentración Afluente	mg/L
Ce	Concentración Efluente	mg/L
KT	Constante reacción 1er. Orden dependiente de la temperatura	

### Valor de la ecuación No. 25

Método Crites & Techonoglous (Tiempo de Retención Hidráulica)			
Fórmula TRH= $(-\ln((C_e)/C_o))/(KT)$		$T_{RH} = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{KT}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Tiempo de retención Hidráulica	TRH	2.28	días
Concentración afluente	Co	750	mg/L
Concentración Efluente	Ce	25	mg/L
Constante reaccion 1er. Orden dependiente de la temperatura	KT	1.49	~

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.25 que la TRH es de 2.28 días (57.72 Horas)

### 3.28 Área Superficial

Aunque usualmente se supone que los caudales de entrada y salida son iguales, se pueden asumir estimaciones razonables de pérdidas por evapotranspiración y ganancias por lluvia. Para hacer estas suposiciones se debe conocer un aproximado del área superficial del humedal.

$$A_S = \frac{(Q_{md}) * (T)}{(n) * (h)}$$

Donde:

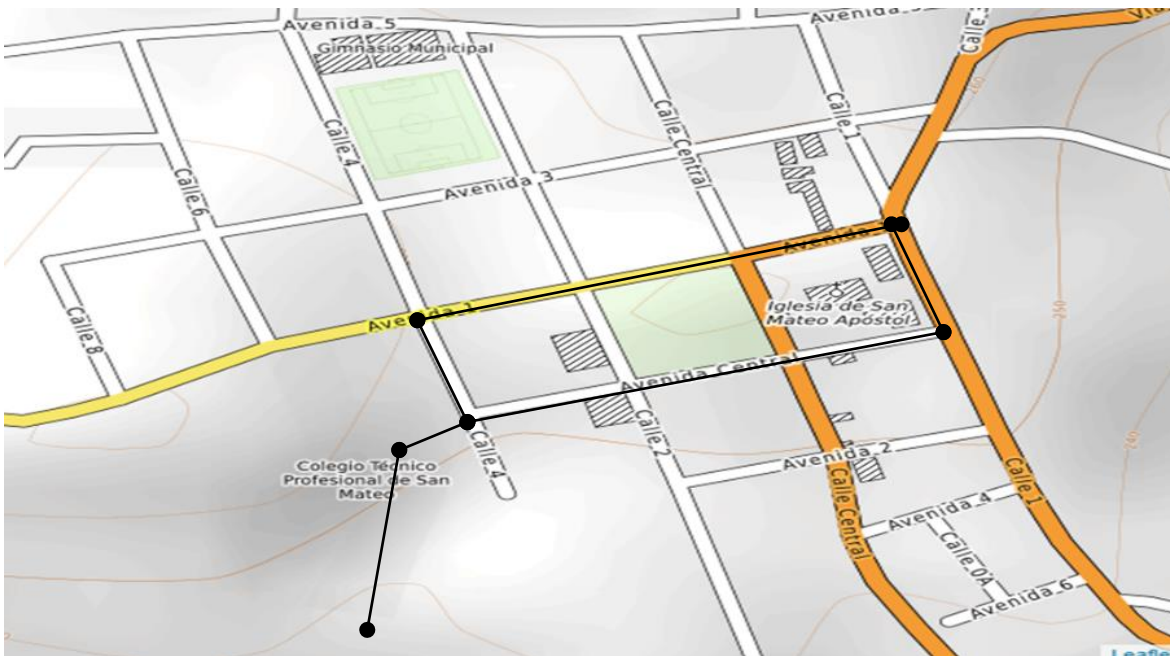
$A_S$	Área Superficial	m <sup>2</sup>
$Q_{med}$	Caudal medio diario	l/s
$n$	Porosidad del medio	-
$h$	Profundidad del humedal	m
$T$	Tiempo de Retención	d

**Valor de la ecuación No. 26**

Área Superficial			
Fórmula $A_s = \frac{(Q_{md}) * T}{(n) * (h)}$		$A_s = \frac{(Q_{md}) * T}{(n) * (h)}$	
NOMBRE	NOMENCLATURA	Valores	UNIDADES
Área Superficial	$A_s$	176.22	m <sup>2</sup>
Caudal Medio Diario	$Q_{med}$	21.1	l/s
Porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)	$n$	0.39	~
Profundidad del humedal	$h$	0.7	m
Tiempo de retención Hidráulica	$t$	2.28	días

Fuente: Elaboración Propia Citado por (Armando Mata D'Avanzo, 2018), Se obtiene según la ecuación No.26 que la  $A_s$  es de 176.22 m<sup>2</sup>

**Ilustración Diseño de las tuberías y pozos y plano con sus Curvas de Nivel**



### 3.29 Sistema de Saneamiento referente al diseño del alcantarillado sanitario

#### Calculo y características de Diseño de la red de alcantarillado Sanitario

Calculo y Características de Diseño de la Red de Alcantarillado Sanitario										
Numero Tramo	Nudo Punto Inicial	Nudo Punto Final	Nivel Rasante Calle Punto Inicial	Nivel Rasante Calle Punto Final	Pozo Altura Inicial	Pozo Altura Final	Nivel Tuberia Punto Inicial	Nivel Tuberia Punto Final	Longitud en Metros	Pendiente en mm
T-1	A	B	258	256.5	1.5	1.5	256.5	255.6	100	0.009
T-2	B	C	259	255.5	1.5	3.5	255.6	254.5	100	0.11
T-3	C	D	258	256.5	1.5	3.5	254.5	255.7	100	0.008
T-4	D	E	260	258.5	1.5	4.3	255.7	251.5	96.97	0.0433
T-5	E	F	253	251.5	1.5	1.5	251.5	250.8	109.58	0.0063
T-6	F	G	254	252.5	1.5	3.2	250.8	249.7	101.78	0.01
T-7	G	H	257	255.5	1.5	7.2	249.7	249.5	100.17	0.0199
T-8	H	I	255	253.5	1.5	5.5	249.5	251.5	96.87	-0.02
T-9	I	J	255	253.5	1.5	4.5	251.5	250.5	17.61	0.056
T-10	J	K	246	244.5	1.5	1.5	250.5	244.5	100	0.059
T-11	K	PTAR	239	237.5	1.5	1.5	244.5	237.5	100.02	0.0699

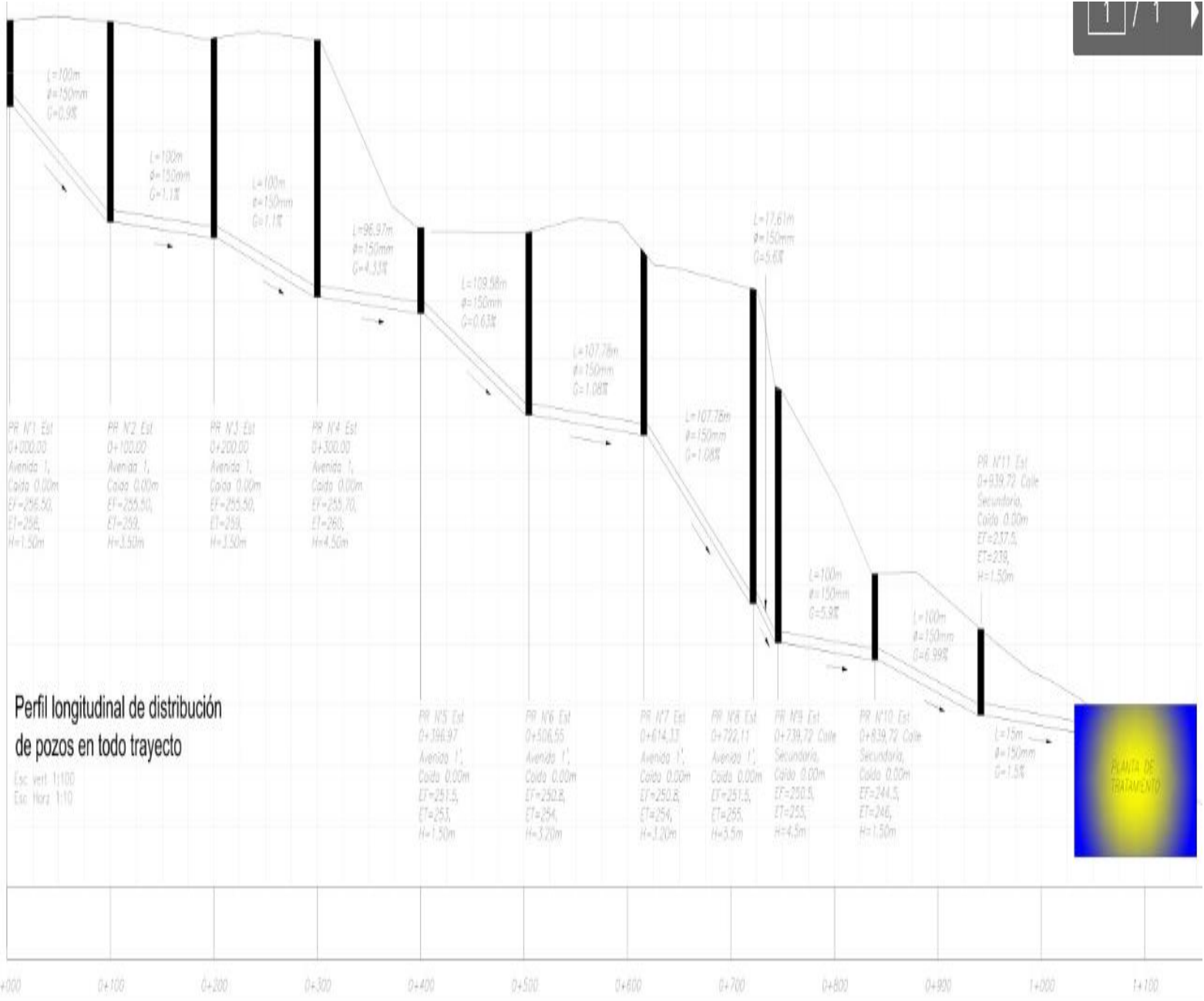
#### Calculo de Caudales por Tramo

Cálculo de Caudales por tramo									
Numero Tramo	Caudal Promedio Diario (Qpap)	Caudal Promedio Residual (Qparo)	Caudal de Infiltracion (Qinf)	Caudal Minimo de Diseño (Qmin)	Caudal Maximo de Diseño (Qmax)	Caudal Anterior (Qant)	Caudal Actual (Qact)	Caudal acumulado	Caudal acumulado en Metros cubicos (m3)
T-1	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0171	0.0171	0.000017
T-2	0.0040	0.2000	0.0076	0.2476	0.2160	0.0000	0.0599	0.0599	0.000060
T-3	0.0040	0.2000	0.0078	0.2478	0.2160	0.0000	0.0161	0.0161	0.000016
T-4	0.0040	0.2000	0.0095	0.2495	0.2160	0.0000	0.0376	0.0376	0.000038
T-5	0.0040	0.2000	0.0081	0.2481	0.2160	0.0000	0.0143	0.0143	0.000014
T-6	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0181	0.0181	0.000018
T-7	0.0040	0.2000	0.0077	0.2477	0.2160	0.0000	0.0255	0.0255	0.000026
T-8	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0255	0.0255	0.000026
T-9	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0427	0.0427	0.000043
T-10	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0439	0.0439	0.000044
T-11	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0477	0.0477	0.000048

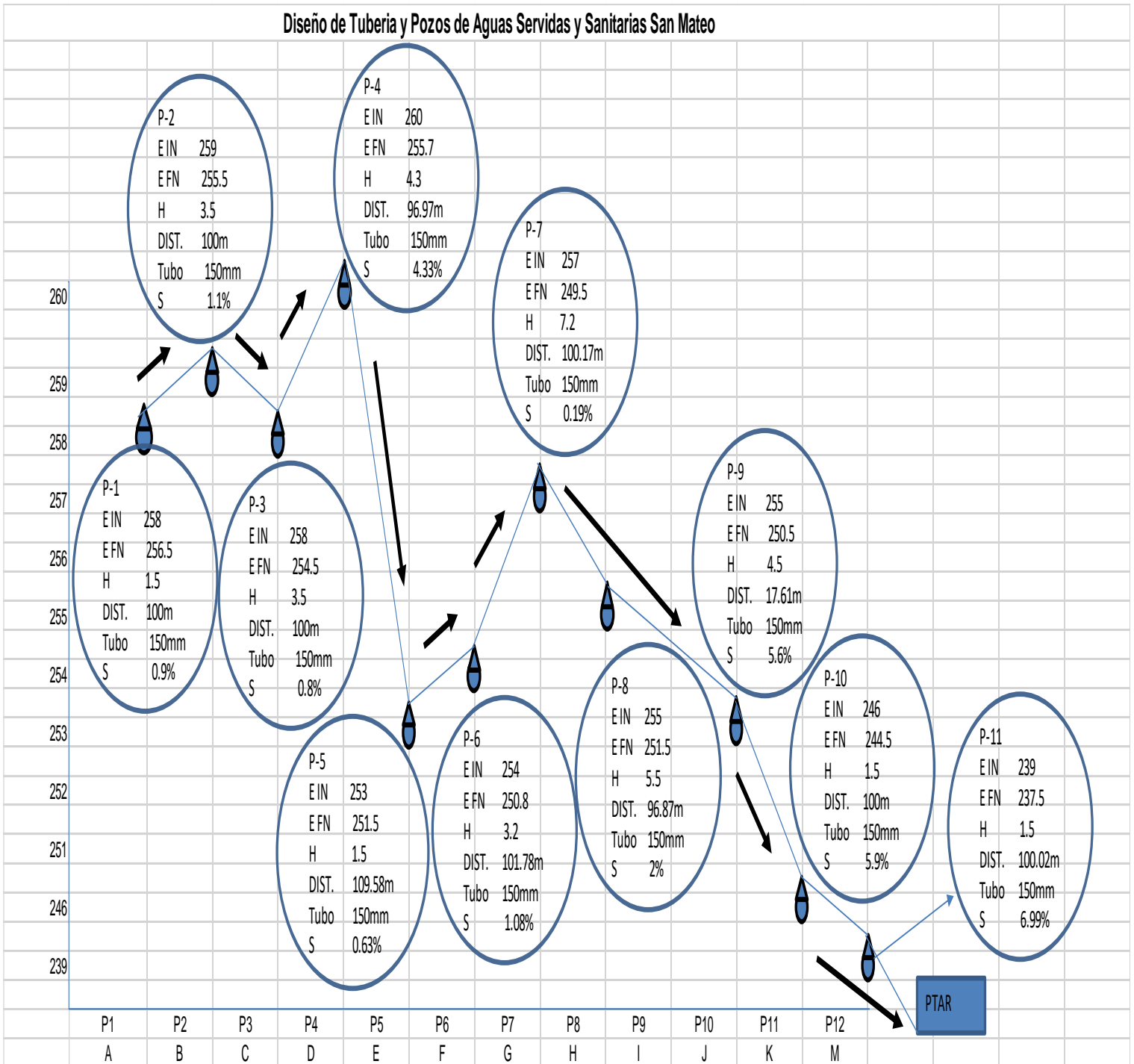
#### Resumen de diseño de tramos de tubería de alcantarillado sanitario

Resumen de Diseño de Tramos de Tuberia de alcantarilla sanitario										
Numero Tramo	Caudal (Q m3/s)	Coefficiente Manning (n)	Pendientes (S)	Diametro Comercial (m)	Velocidad Manning (V m/s)	Tirante Hidraulico (m)	Tirante (%)	Numero de Froude (NF)	Radio Hidraulico (m)	Fuerza Tractiva (kg/m2)
T-1	0.000017	0.010	0.9	0.15	0.1641	0.0034	34.0%	1.10	0.0023	0.0048
T-2	0.000060	0.010	11	0.15	0.5752	0.0035	35.0%	3.81	0.0023	0.0203
T-3	0.000016	0.010	1.8	0.15	0.4537	0.0029	29.0%	1.49	0.0019	0.0050
T-4	0.000038	0.010	4.33	0.15	0.3619	0.0035	35.0%	2.39	0.0023	0.0102
T-5	0.000014	0.010	0.63	0.15	0.1366	0.0034	34.0%	0.91	0.0023	0.0044
T-6	0.000018	0.010	1	0.15	0.1732	0.0035	35.0%	1.15	0.0023	0.0050
T-7	0.000026	0.010	1.99	0.15	0.2460	0.0035	35.0%	1.62	0.0023	0.0066
T-8	0.000026	0.010	2	0.15	0.4214	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0066
T-9	0.000043	0.010	5.6	0.15	0.4110	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0121
T-10	0.000044	0.010	5.9	0.15	0.4214	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0125
T-11	0.000048	0.010	6.99	0.15	0.459	0.0035	35.0%	3.04	0.0023	0.0142

ESQUEMA DE DISEÑO TUBERÍAS Y POZOS AGUAS SERVIDAS Y SANITARIAS



### Diseño de Tubería y Pozos de Aguas Servidas y Sanitarias San Mateo



## **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESFOGUE DE AGUAS NEGRAS Y AGUAS SERVIDAS, PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DE LOS HABITANTES DEL CANTÓN DE SAN MATEO, EN ALAJUELA.**

### **3.30 Introducción.**

El Reglamento de aprobación y operación de Sistemas de tratamiento de Aguas residuales ordinarias a través del No. 31545-S-MINAE, por el Presidente de la República, Ministerio de Salud y Ministerio de Ambiente y Energía, por medio del “Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales” que proteger el recurso hídrico, es proteger la salud del hombre y la vida sobre la tierra y es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país.

Dado este principio de reglamento dicho anteriormente, y para el distrito del cantón de San Mateo, donde se utiliza un sistema Biológico, que significa (que es un tratamiento donde usan bacterias que metabolizan o digieren, los contaminantes que están presentes en el agua. De esta manera limpian el agua de los contaminantes disueltos (sobre todo como DBO y DQO). Esto con base en el diseño de las casas habitadas estimadas en 6.250 y habitantes del cantón de 9.100 ambos con una proyección a 30 años, con un caudal de 26.33 L/s.

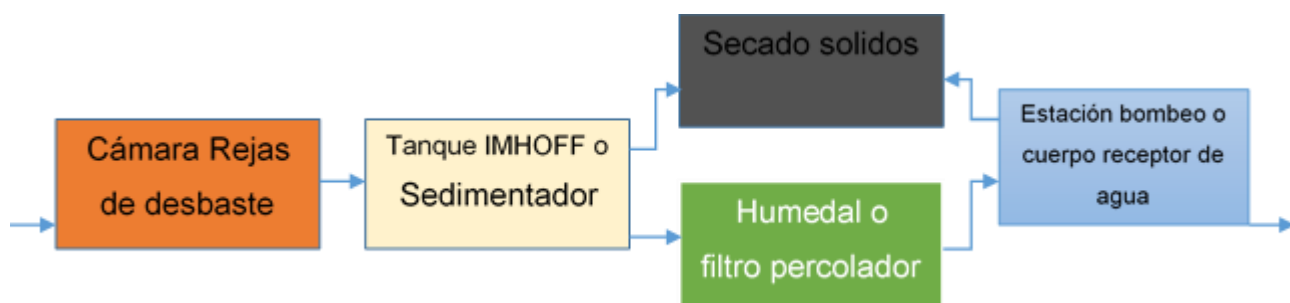
Según el decreto 33601-MINAE-S (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales), cuando la aguas son tratadas y cumplen los parámetros de las aguas receptoras, donde estos a su vez llegan o colinda con los límites de los terrenos o ríos, su destino una vez instalada la planta de tratamiento en el cantón de San Mateo su desfogue o efluente sería en el río Machuca. Donde la persona encargada y con el sitio ya ubicado y con el manual de operación y mantenimiento encontrará la metodología y la descripción de todos los elementos, que estos conlleven al manejo

del sistema de tratamiento a través de la operación y los procedimientos internos estipulados por esta.

### 3.31 Método Planteado (Sistema Propuesto) para la Planta de Tratamiento ubicado en distrito San Mateo

Como se explicó anteriormente en la introducción, este sistema Biológico significa (que es un tratamiento donde usan bacterias que metabolizan o digieren, los contaminantes que están presentes en el agua. De esta manera limpian el agua de los contaminantes disueltos (sobre todo como DBO y DQO), donde este sistema Biorremediación (viene utilizar un proceso de organismos vivos para, absorber, Degradar, transformar los contaminantes que estos a su vez viene a, retirarlos, Inactivarlos, por su efecto al suelo, el agua y aire), con un objetivo que es agitar todos los contaminantes como son los orgánicos, inorgánicos y patógenos, este sistema se conoce por tener alta eficiencia, que no necesita tener un excelente consumo energético y de un manejo fácil en la operación, mantenimiento y tiempo. Para realizar este sistema biológico de biorremediación en la utilización del efluente, este consiste de cuatro etapas que están propuestas desde que se inició esta tesis y su importancia que tiene cada uno de ellas, y cumpliendo con lo establecido por el reglamento del A y A, sobre el vertido de aguas residuales, todo esto se puede utilizar para variedades de actividades como son las zonas verdes y también para uso de la agricultura como a través del riego

#### 3.31.1 B.1 Componentes y Procesos para una planta de tratamiento



### **3.31.2 B.2 Separación de Sólidos**

#### **3.31.2.1 B.2.1 *Rejillas de desbaste***

Los criterios de diseño de las rejillas se fundamentan en las velocidades de paso del flujo de aguas residuales, a través de ellas. Esta velocidad no debe ser tan baja que promueva la sedimentación de sólidos ni tan alta que genere arrastre de sólidos ya retenidos por los barrotes de las rejillas.

Es conocido también como cribado, su principal función es separar los elementos flotantes de gran tamaño como bolsas plásticas, trozos de madera, ropa, ramas y entre otros por medio de unas rejillas metálicas en las que el agua residual pasa a través de ellas, diseñadas de diferentes tamaños para cada caso en específico. Estos elementos deben ser separados correctamente para que no afecten los diferentes procesos que conlleva una planta de tratamiento de aguas residuales. Estas se pueden clasificar según el tipo de limpieza ya sea manual o mecánica. En este caso se utilizaron rejillas de desbaste manual ya que son instaladas en plantas de tratamiento de no muy gran tamaño y tienen un costo de operación menor.

#### **3.31.3 B.2.2 Tanque Sedimentador**

El Tanque de sedimentación se presenta de diferentes maneras dependiendo de la temperatura, del tipo de partículas presentes, de su concentración en el agua, del tipo de sedimentador y de la zona de la unidad en donde ocurre ese fenómeno. Es donde llega el caudal de las aguas a tratar, consiste en un tanque, que se encarga de separar los sólidos y los objetos no biodegradables por medio de la acción de la gravedad ya que las partículas tienen un peso mayor al del agua, lo que provoca que se acumulen en fondo del sedimentador y estos tienen que ser canalizados a un lecho de secado. Este proceso es importante, debido a que niveles elevados de turbiedad esto puede perjudicar los procesos biológicos en el humedal, afectando la calidad del efluente.

#### **3.31.4 Lecho de Biorremediación**

La Biorremediación es el proceso de descontaminación que utilizando esos microorganismos, que acelera ese proceso natural e irreversible, en sitios donde la contaminación es muy elevada. Las bacterias descomponen el hidrocarburo básicamente en CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y residuos orgánicos. Una vez que se acaba su fuente de alimentación (hidrocarburo), la zona queda descontaminada, las bacterias mueren y se integran de nuevo al ciclo natural como alimento proteico para otros organismos vivos. Básicamente es una excavación de poca profundidad y forma de canal la cual ha sido impermeabilizada con geo membrana HDP, también se ha dispuesto una instalación hidráulica de PVC la cual recibe el agua del tanque sedimentador y la distribuye uniformemente. Esto con el fin de sembrar plantas como, Carrizo cuya función es producir oxígeno para que la materia orgánica y química pueda tener esa bacteria que ayudan a purificar el agua.

#### **3.32 Lecho de Secado de Lodos**

El lecho de secado se encarga principalmente de deshidratar los lodos digeridos, provenientes del tanque sedimentador. Estos una vez secos, son retirados por medio de rastrillos o palas y son llevados a vertederos controlados o bien pueden ser utilizados como abono para el acondicionamiento de suelos. Unas de sus principales ventajas es que no requiere de un alto costo de mantenimiento. Se utilizará el tipo de lecho de secados pavimentados. Estos lechos están conformados por una primera capa de blocks o adoquines en los cuales son esparcidos los lodos y una segunda capa de arena y piedra de diferentes granulometrías que se encuentra bajos los adoquines. La cual se encarga de drenar los líquidos que son expulsados por los lodos hacia una tubería perforada de PVC, que se encuentra en el fondo del lecho de secados. El proceso de lechos de secado consiste en una cama o tanque rectangular, en los cuales se dispone el lodo húmedo sobre un sistema de drenaje. Este debe ser cubierto por algún material que permita el traspaso de la luz del sol pero que también impermeabilice la superficie del lecho de secado para que la posible caída de lluvia no altere el proceso.

### 3.33 B.4 Receptor de agua tratada

Conocido como “cuerpo receptor” es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, canal artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales, esto con el fin de poder hacer realidad este proyecto para el pueblo de San Mateo, donde el Efluente tratado es el conocido río Machuca un lugar donde es visitado por muchos habitantes dentro y fuera de la zona, lógicamente cumplimente con los parámetros establecidos por el Decreto 33601-MINAE-S sobre el vertido de agua residuales y sus característica de agua residual cruda , tratada y normativa , según el cuadro establecido por el mismo AyA

Actividad	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	PH	GRASAS (mg/l)	SS (mg/l)	T (Oc)	SAAM (MG/l)
Entrada	232	492	300	605	40	5	28	10
Eficiencia Proyectada	90%	90%	90%		80%	80%		
Efluente	23	50	10	7	8	1	28	1
Norma Reglamento	50	150	50	5-9	30	5	28	5

### 3.34 Operación y Mantenimiento

#### 3.34.1 C.1 Operación de la Planta

Como se explicó anteriormente en el sistema propuesto para la planta de tratamiento, el sistema de operación para dicha planta donde se identificó las cuatro etapas para el funcionamiento la cuales son: Separación de Sólidos, Tanque de sedimentación, Lecho de Secado, y Receptor de aguas Tratadas, al conocer o al tener claro para que sirven cada una de las etapas para el funcionamiento de la planta, una vez identificado el tanque de separación de sólidos y teniendo un buen

flujo de agua hacia el mismo se empezaría seguidamente con la segunda etapas que es el sedimentador, donde este a su vez pasa por el lecho secado o Lecho Biológico donde estaría pasando el agua a la tercera etapa, a través de los flujos de agua finalizando en el Receptor de agua tratada, donde este a su vez y con la verificación adecuado y ya tratada se dirige al ente recetor (Efluente), por tal motivo con la ayuda de la municipalidad de San Mateo , se pudo buscar un lugar muy adecuado para la instalación de la planta, ya que esta puede provocar malos olores, y por eso se necesita que este alejado del pueblo ya que si estaría ocurriendo este tipo de cosas, es donde entrarían el mecanismo de mantenimiento de la planta para poder corregir si hubiera una fuga u otro tipo de daño todo con el debido procedimiento establecido , y una vez tratado o corregido el daño el operador o encargado de la planta debería anotar todo lo que suceden en la misma a través de bitácoras de operación apuntando las anomalías y normalidades que sucedan en el entorno.

### **3.34.2 C.2 Puesta en Marcha**

Una vez realizado todo lo que conlleva a la instalación de la planta de tratamiento en el lugar indicado, se viene uno del punto más importante que es la puesta en marcha de la planta, es donde se tiene una revisión muy minuciosa de cada detalle que esta lleva, porque a la hora de hacer arranque y falla por algún motivo el elemento del proceso se atrasaría todo, ya que cada inspección , ruta, o etapa de cada una de las partes de esta planta es de suma importancia para poder hacer la ejecución y la confiabilidad que tiene la empresa constructora para entregarla con todo sus parámetros bien definidos, esto a su vez la empresa que da el servicio, contará con una capacitación al personal idóneo de la municipalidad para seguir dirigiendo de la mejor manera a la planta y llevar el control a través de una mejora continua del proceso que esta conlleva.

### 3.34.3 C.3 Equipo citado para el manejo de la planta

Para un mejor control en todos los procesos para optimizar los tipos de trabajo donde se labora, especialmente evitar cualquier riesgo, existe una herramienta que se utiliza para toda trabajo que se conoce como Salud Ocupacional, es un elemento muy importante en cualquier empresa y por seguridad del empleado, esto para evitar problemas de riesgo con las instituciones como el INS o CCSS por trabajos laborales es muy esencial, acatar las medidas que tiene la empresa, en este lugar seria la municipalidad de San Mateo con referente al uso de equipo personal y adecuado para la empresa especialmente para el manejo de la planta de tratamiento tanto para el operador ,como misceláneos el uso adecuado de la herramienta u uniformes de la cuales se detallan a continuación :

- Termómetros
- Cintas indiquen PH
- Cintas métricas 30 cm
- Medidor de oxígeno
- Calculadoras científicas
- Balde o cubeta plástica
- Moto guadaña
- Pala metálica
- Machete o cuchillo para chapear
- Botas y guantes de hule u otros
- Escoba y cepillo plástico
- Rastrillo metálico
- Tijeras jardineras
- Gorra y lentes de protección
- Ropa adecuada para trabajo, resistente

Como para mantener un higiene adecuado para cada trabajo debe de tener lo siguiente:

- ✓ Lavarse las manos con agua y jabón ante de ingerir alimentos.
- ✓ Evitar tocarse los ojos y nariz con las manos sucias, solo con manos limpias.
- ✓ Tener la uñas recortadas y limpias.
- ✓ Usar guantes adecuado a la hora de realizar trabajos por si tiene grietas.
- ✓ Bañarse bien ante de irse para la casa.
- ✓ No mezclar la ropa sucia con la limpia.
- ✓ Informar de inmediato cualquier lesión o enfermedad.
- ✓ Indicarle al Doctor que usted trabaja con planta tratamientos agua negras o servidas.
- ✓ Lugar adecuado para lavarse las manos después del trabajo.
- ✓ Áreas adecuadas para ingerir sus alimentos.

### **3.35 Personal Adecuado para el trabajo en planta**

Para este proyecto como la municipalidad de San Mateo va ser la encargada de llevar los procesos para el manejo adecuado y preciso, y al tener un departamento de Recursos humanos especializado para todo lo que tiene la municipalidad, es un ente primordial para la escogencia del personal idóneo a través de entrevistas personal para escoger el personal que llevara a cabo las labores de operación y mantenimiento y con la capacitación que le brinde a través de la empresa que construya dicho planta que trabaje 30 horas por semana, unas 3 horas diarias por día dedicadas a las labores de control, información, limpieza y el cuidado que ella pueda presentar a la hora de trabajar, cualidades de la persona indicada, que sea mayor de edad , conocimiento en computación, educación primaria, responsable , de buenos principios, que tenga un orden de llevar bien las cosas, conocer normas de seguridad básica, conocimiento mínimos en matemática, tener permiso de conducir al día, cédula al día.

### 3.35.1 Presentar informes y pruebas de laboratorio

Una vez realizado todos los pasos o los cuatro métodos explicados anteriormente, y según el reglamento de vertido del A y A, en conjunto con lo establecido según el reglamento con el Ministerio de Salud de Costa Rica, determinando las pruebas y frecuencias en el laboratorio sobre el uso del agua negras y servidas que llegan a la planta en etapa de madurez, para que a través de ese laboratorio especializado y certificado pueda valorar todas las pruebas que esta conlleva, entregando un documentos con todo los parámetros establecidos por el Ministerio de Salud y el AyA, de cómo está funcionando la Planta Tratamiento en San Mateo, de esta forma se hará para cumplir y llevar a cabalidad lo establecido por las instituciones del gobierno de Costa Rica.

### 3.36 Presupuesto y plan de financiamiento de la Obra.

Para el presupuesto total de la obra que corresponde para la PTAR, alcantarillado sanitario, y para el plan de financiamiento que se calculó para un periodo de 30 de años, con una proyección de cantidad de viviendas a futuro. Y con el inicio de la operación de la PTAR tendremos la cantidad de total de costo de dicha obra.

Propuesta a un Plan de Financiamiento			
<b>Cantidad Vivienda</b>	<b>6300</b>	<b>Costo</b>	<b>₡ 3,500.00</b>
Recaudacion Mensual			₡ 22,050,000.00
Recaudacion Anual			₡ 264,600,000.00
Recaudacion 30 años			₡ 7,938,000,000.00

Una de las propuestas para un plan de financiamiento para poder poner en práctica este proyecto en los que es una servicio de alcantarillo y una Planta de Tratamiento para Aguas negras y Servidas, es poder tener un buen bienestar al pueblo de San Mateo y por el bien común para el medio Ambiente especialmente para el río Macho es cobrarles a cada vivienda un monto mensual de ₡3,500.00 por mes y con una estimación a 30 años, se obtendría una inversión para la recuperación de la obra de ₡7,938,000,000.00

### 3.36.1 Presupuesto de Pozos y Tubería Sanitarias

Para la elaboración de los pozos y Tubería del alcantarillado sanitario en el distrito del cantón de San Mateo de Alajuela y consultas algunas empresas constructoras de nuestro país se obtuvieron los precios promedios para la construcción de dichos pozos y Tuberías tomando en cuenta lo que lleva cada pozo y tubería para su elaboración.

Cálculo de Pozo de Registro con su costo				
Número Pozos	Diámetro	Profundidad	Costo Unitario /metro	Costo Total
P-1	1.20	1.50	¢700,000.00	¢1,050,000.00
P-2	1.20	3.50	¢700,000.00	¢1,050,000.00
P-3	1.20	3.50	¢700,000.00	¢2,450,000.00
P-4	1.20	4.30	¢700,000.00	¢2,450,000.00
P-5	1.20	1.50	¢700,000.00	¢3,010,000.00
P-6	1.20	3.20	¢700,000.00	¢1,050,000.00
P-7	1.60	7.20	¢810,000.00	¢2,240,000.00
P-8	1.20	5.50	¢810,000.00	¢5,832,000.00
P-9	1.20	4.50	¢700,000.00	¢4,455,000.00
P-10	1.20	1.50	¢700,000.00	¢3,150,000.00
P-11	1.20	1.50	¢700,000.00	¢1,050,000.00
			Subtotal	¢27,787,000.00
			M.O 75%	¢20,840,250.00
			TOTAL	¢48,627,250.00

Cálculo de Tramos de Tubería con su costo				
Número Tramo	Longitud (m)	Profundidad ( M )	Costo Unitario /metro	Costo Total
T-1	100	1.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-2	100	3.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-3	100	3.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-4	96.97	4.30	¢146,500.00	¢14,206,105.00
T-5	109.58	1.50	¢146,500.00	¢16,053,470.00
T-6	101.78	3.20	¢146,500.00	¢14,910,770.00
T-7	100.17	7.20	¢146,500.00	¢14,674,905.00
T-8	96.87	5.50	¢146,500.00	¢14,191,455.00
T-9	17.61	4.50	¢146,500.00	¢2,579,865.00
T-10	100	1.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-11	100.02	1.50	¢146,500.00	¢14,652,930.00
T-12	100	1.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-13	100	1.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-14	100	1.50	¢146,500.00	¢14,650,000.00
T-15	80	1.50	¢146,500.00	¢11,720,000.00
			Subtotal	¢205,539,500.00
			M.O 75%	¢154,154,625.00
			TOTAL	¢359,694,125.00

Tabla: Materiales y Mano de Obra para la construcción de pozos y tuberías

Descripción de Actividades Mano Obra	Descripción de Materiales
Colocación y compactación de rellenos pozo.	Material relleno pozo.
Excavaciones pozo.	Material Cama pozo.
Colocación de aro y tapa.	Aro y tapa Metálica.
Retiro de Material sobrantes pozo.	Concreto 210 kg/cm <sup>2</sup> premezclado pozo.
Instalación de tubería y accesorios de la caída	Tubería de la caída.
Colocación y compactación de cama pozo	Concreto 175 kg/cm <sup>2</sup> premezclado pozo.
Colocación formaleta pozo.	Accesorios de la caída (Tee, Tapón, Codo).
Colocación de refuerzo pozo.	Contratapa prefabricada.
Colocación de concreto pozo	Formaleta pozo.
	Acero de refuerzo (incluye amarres).

**Tabla: Materiales y Mano de Obra para la construcción de Tuberías Sanitarias**

Descripción de Actividades Mano Obra	Descripción de Materiales
Colocación y compactación de asfalto.	<b>Material Sub Base reconstrucción parcial de vía.</b>
Colocación y compactación de base	Asfalto reconstrucción parcial de vía.
Colocación y compactación de sub-base.	Material Base reconstrucción parcial de vía
Colocación y compactación relleno zanja red sanitaria.	<b>Concreto 210 premezclado refuerzo tubería sanitaria.</b>
<b>Colocación de concreto y refuerzo tubería sanitaria</b>	Material relleno tramo sanitario.
Instalación de tubería 150 mm.	Material cama tramo sanitario.
Colocación y compactación de cama red sanitaria	Tubería Pvc 150 mm
<b>Retiro de Material sobrantes tramo sanitario</b>	
Excavación zanja con máquina.	
Corte carpeta existente. Mano de obra	

Cuadro de Precios por costo en diámetros en pozos y tuberías

<b>Precio del costo de los diámetros de Pozos y Tubería Sanitaria</b>		
Tipo de Diametro (m) Pozos	Costo Unitario X Metro lineal	Tramo Tuberías
1.6	₡810,000.00	1 Metro L
1.2	₡700,000.00	
	₡146,500.00	

Fuente: Elaboración Propia, consulta a varias empresas del País.

**Tabla de Dimensiones de pozos en concreto con referencia del A y A**

<b>Tabla : Dimensiones de Pozos en Concreto</b>			
Diámetro Interno del pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Epesor de Pared del Pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/Cm2)
1.20	Hasta 5.0	0.12	210
1.60	´+ de 5.0 hasta 8.0	0.12	280
1.80	´+ de 8.0 hasta 10.0	0.12	280
2.00	´+ de 10.0 hasta 15.0	0.12	280

Fuente: Norma del AyA (AYA, 2017)

**Tabla: Resumen Presupuesto Total**

<b>Resumen del Presupuesto Global para la Planta Tratamiento en Canton San Mateo</b>	
<b>Proyecto: Diseño de una Planta de Tratamiento de desfogue de Aguas Negras y Aguas Servidas, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón de San Mateo, en Alajuela.</b>	
<b>Propuesta para la Municipalidad de San Mateo, Provincia de Alajuela</b>	
Actividad Glovales	Costo General de la Obra
Movimiento de Tierra	₡8,466,930.50
Canal de Rejillas	₡1,068,182.50
Sidementador	₡10,816,137.50
Lecho de Secado	₡13,956,950.00
Humedal	₡12,194,875.00
Tuberia Superficial	₡46,406,500.00
Tuberia y Accesorios	₡9,478,000.00
Parqueo, Caseta del Guarda, Otros y Maya Ciclon	₡20,146,000.00
Tuberías y conexiones	₡359,694,125.00
Pozos	₡48,627,250.00
Planta Tratamiento	₡174,113,082.40
<b>TOTAL</b>	<b>₡704,968,032.90</b>



Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	01 junio		01 julio		01 a
							31/05	14/06	28/06	12/07	26/07
1		<b>Proyecto Planta de Tratamiento de desfogue de Aguas Negras y Aguas Servidas.</b>	365 días	mié 01/06/22	mar 24/10/23						
2		<b>Fase1 Planeación, Planos y Permisos</b>	63 días	mié 01/06/22	vie 26/08/22						
3		Plano catastrado	1 día	mié 01/06/22	mié 01/06/22						
4		Visita al lote.	1 día	jue 02/06/22	jue 02/06/22	3					
5		Reunión y presentación del anteproyecto	1 día	vie 03/06/22	vie 03/06/22	4					
6		CFIA y Setena	30 días	lun 06/06/22	vie 15/07/22	5					
7		Permisos Municipales	30 días	lun 18/07/22	vie 26/08/22	6					
8		<b>Fase 2- Ejecución. Construcion del Alcantarillado y Pozos</b>	114 días	lun 29/08/22	jue 02/02/23	7					
9		Visita al terreno.	2 días	lun 29/08/22	mar 30/08/22						
10		Cerramiento y bodegas.	2 días	mié 31/08/22	jue 01/09/22	9					
11		Trazo y nivelación, movimiento de Suelo y extracion capa asfaltica	20 días	vie 02/09/22	jue 29/09/22	10					

Tarea Tarea manual   
 División Sólo duración   
 Hito Informe de resumen manual   
 Resumen Resumen manual   
 Resumen del proyecto Sólo el comienzo   
 Tareas externas Sólo fin   
 Hito externo Fecha limite   
 Tarea inactiva Progreso   
 Hito inactivo Progreso manual   
 Resumen inactivo

Proyecto: Planta de de desfogue d  
 Fecha: lun 20/06/22

Página 1

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	01 junio		01 julio		01 a
							31/05	14/06	28/06	12/07	26/07
12		<b>Chorea de cimientos. Instalación y Construcción de Pozos</b>	20 días	vie 30/09/22	jue 27/10/22	11					
13		Levantamiento de muros y Instalación de Tuberías y Accesorios	20 días	vie 28/10/22	jue 24/11/22	12					
14		<b>Fases Finales de la construcción de Alcantarillado y Pozos, Relleno y compactación y Colocación Capa Asfaltica</b>	20 días	vie 25/11/22	jue 22/12/22	13					
15		Repellos generales.	10 días	vie 23/12/22	jue 05/01/23	14					
16		Chorea de contrapiso	10 días	vie 06/01/23	jue 19/01/23	15					
17		Acabados.	10 días	vie 20/01/23	jue 02/02/23	16					
18		<b>Fase 2 Ejecución Construcion Planta Tratamiento</b>	302 días	lun 29/08/22	mar 24/10/23	7					
19		Visita al Terreo Trazo y nivelación, movimiento de Suelo	60 días	lun 29/08/22	vie 18/11/22						

Tarea Tarea manual   
 División Sólo duración   
 Hito Informe de resumen manual   
 Resumen Resumen manual   
 Resumen del proyecto Sólo el comienzo   
 Tareas externas Sólo fin   
 Hito externo Fecha limite   
 Tarea inactiva Progreso   
 Hito inactivo Progreso manual   
 Resumen inactivo

Proyecto: Planta de de desfogue d  
 Fecha: lun 20/06/22

Página 2

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	01 junio		01 julio		01 a
							31/05	14/06	28/06	12/07	
20		Todo lo que lleva lo obra gris , Construcción del Sedimentador, Lecho Secado, Canal Rejillas, Parqueo, Caseta Guarda.	90 días	lun 21/11/22	vie 24/03/23	19					
21		Todo lo referene a Tuberías	90 días	lun 27/03/23	vie 28/07/23	20					
22		Agregados , Planta del Humedal y Plantas	62 días	lun 31/07/23	mar 24/10/23	21					
23		<b>Fase 3 - Inico de Puesta en Marcha la Planta</b>	3 días	vie 03/02/23	mar 07/02/23	17					
24		Puesta en Marcha	3 días	vie 03/02/23	mar 07/02/23						
25		<b>Fase 4 inico de Operación</b>	1 día	mié 08/02/23	mié 08/02/23	24					
26		Inicio de Operación Planta Tratamiento	1 día	mié 08/02/23	mié 08/02/23						

Proyecto: Planta de de desfogue d Fecha: lun 20/06/22	Tarea		Tarea manual	
	División		Sólo duración	
	Hito		Informe de resumen manual	
	Resumen		Resumen manual	
	Resumen del proyecto		Sólo el comienzo	
	Tareas externas		Sólo fin	
	Hito externo		Fecha limite	
	Tarea inactiva		Progreso	
	Hito inactivo		Progreso manual	
	Resumen inactivo			

Página 3

Fuente: Elaboración Propias



## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.39 Conclusiones

- A.** El desarrollo y crecimiento del Cantón de San Mateo, distrito central, es de carácter semiurbano, el uso de suelo de este distrito en su mayoría es utilizado en Actividades de Ganadería y Agricultura, y es de más uso domiciliario que comercial, ya que, al crecer el vecino cantón de Orotina, todo el comercio fue trasladado a dicho sitio. Esto por la construcción del ferrocarril al Pacífico.
- B.** Para efectuar las proyecciones de población del cantón de San Mateo se toma como referencia los datos del INEC, del cual se realiza un estimado de la población hasta año 2050, previniendo que la PTAR y el alcantarillado tenga la capacidad de purificar las aguas residuales para 9100 habitantes del distrito del San Mateo con un caudal aproximado de diseño de 26.33 l/s.
- C.** Si este proyecto se concreta por parte de la Municipalidad de San Mateo le permitirá mejorar las condiciones ambientales siempre y cuando se respete a cabalidad los lineamientos y normativas para garantizar la protección de los afluentes cercanos.
- D.** Por limitaciones económicas en la realización de estudios técnicos para la elección del terreno, se elige éste con los criterios técnicos del Ingeniero y la oficina de la Unidad Técnica de Gestión Vial, siendo el más idóneo el terreno perteneciente al Colegio Agropecuario de San Mateo, ya que cumple con los desniveles apropiados para ubicar el receptor de las aguas. esto con el fin de beneficiar dicho diseño para obtener un flujo libre, evitando así un elevado costo en dicho proyecto ya que minimiza las estaciones de bombeo.

- E.** Para el diseño del alcantarillado sanitario, se toma como referencia un croquis aportado por el A y A de San Mateo, donde se calcula 11 tramos, para un aproximado de un km de tuberías de Pvc de 150mm, obteniendo una pendiente mínima de 1% y una máxima de 7%, en el cual se estima una aproximado de 11 pozos de registro con una profundidad entre 1.20 y 4.5m.
- F.** Para este proyecto se plantea el diseño de una PTAR de tipo aerobia, humedal subsuperficial, ya que se obtienen bajos costos de mantenimiento, y además para su operación es muy útil ya que no ocupa de energía eléctrica, ni maquinarias.
- G.** Se propone utilizar un tratamiento secundario a través de un proceso de sedimentación, a la hora de regularizar el canal con rejillas, que consiste en un humedal donde las plantas carrizo, vienen a realizar una buena depuración de estas aguas que permiten obtener un buen punto de desfogue hacia el río Machuca.
- H.** Si la Municipalidad de San Mateo, considera desarrollar esta propuesta en su presupuesto tendría una recaudación total aproximada de  $\text{C}\$7,938,000,000.00$ . suma que le permite recuperar la inversión del total de la obra.
- I.** Se calcula que, con el cronograma de actividades constructivas por etapas, que se propone para la realización del diseño de PTAR y su alcantarillado, tiene una duración de aproximadamente un año.

### 3.40 Recomendaciones

- A.** Al ejecutar este proyecto se recomienda llevar un buen manejo a través de controles, un excelente seguimiento tanto en la Operación de la PTAR, como en el mantenimiento de todo el equipo que este conlleva y de modo responsable acatar todos los procesos y lineamiento a la hora de operar y mantener, para así evitar daños y accidentes, este se da con una buena capacitación al personal idóneo a través de controles operacionales, para corroborar la eficiencia de la PTAR.
- B.** A la hora de impartir las capacitaciones necesarias para la operación de la planta, se le tiene que explicar al personal de sus funciones, responsabilidades que esto conlleva, realizando así labores de control periódicamente donde informe su buen funcionamiento de la Planta, también realizar y elaborar las pruebas de laboratorio a través de lo que exigen el Reglamento de Vertido y Re-Uso de aguas Residuales.
- C.** Se le informa o recomienda a la municipalidad de San Mateo que todo este proyecto a la hora de construirla, y hacerla realidad sea a través de empresas consolidadas y de buen prestigio y con el cartel de mejor precio para la construcción de dicho proyecto.
- D.** En el Punto G. en la parte de conclusiones donde indica que esta planta es económica ya que no ocupa Energía Eléctrica, se le recomienda que tenga instalada de una planta de energía eléctrica que se maneje con combustible de diésel ya que su costo es bajo, con el fin de cubrir alguna emergencia y que esté totalmente oscura.

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### REFERENCIAS

Aldás Castro, J. C. (23 de Mayo de 2011). Diseño de Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas Servidas de 4 Lotizaciones Unidas, del cantón El Carmen. Quito, Ecuador.

Álvarez, J. L., & Jurgenson, G. (2003). *Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología*. (Ediciones Paidós Ibérica S. A., Ed.) México, D.F., México: Editorial Paidós Mexicana S. A.,.

Andrés Vicenta Muñoz, J. A. (2018). *Base de la Ingeniería Ambiental*. Madrid: Edición digital: Enero 2019.

Armando Mata D'Avanzo, y. C.-B. (31 de Enero de 2018). PLANTA DE TRATAMIENTO AEROBICA Y CANALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CANTON DE SANTA BARBARA DE HEREDIA (TESIS DE PREGRADO). *Universidad Central*. Heredia, Heredia, Costa Rica.

AYA. (2006). REGLAMENTACIÓN TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCION DE URBANIZACIONES CONDOMINIOS Y FRACCIONAMIENTO. SAN JOSE , COSTA RICA .

AYA. (22 de Setiembre de 2017). Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial. N° 180. San José, Costa Rica: La Gaceta.

AyA. (22 de SETIEMBRE de 2017). *NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONTRUCCION DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANEAMIENTO Y PLUVIAL*. Obtenido de Junta Directiva del

A Y A Publicado en los Alcances N°227 A,B,C,D,E,F,G de la Gaceta N°  
180:

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>

AYA, I. A. (Marzo de 2009). *Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales Costa Rica 2009-2015*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de Biblioteca Virtual en Salud:  
<http://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente39.pdf>

AYA, J. d. (18 de Febrero de 2008). Acuerdo N° 2008-068 de la SESIÓN N ° 2008-008 EXTRAORDINARIA. San José, Costa Rica. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de  
<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Acuerdo%20N%C2%BA%202008-068%20Tr%C3%A1mites,%20requisitos%20y%20procedimientos%20para%20aprobaci%C3%B3n%20de%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20a.pdf>

Calderón Barrantes, S. (Mayo de 2013). Diseño preliminar del alcantarillado sanitario para la recolección de las aguas residuales de San José de la Montaña y propuesta del sistema de tratamiento más adecuado. *Tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil*. San Pedro, San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de  
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/3583/34985.pdf?sequence=1>

Caldes, J. P. (10 de Mayo de 2018). *Rejas de desbaste*. Obtenido de  
<http://blogdeagua.es/reja-de-desbaste/>

Campos-Castillo, A. (Diciembre de 2011). Diseño de una herramienta para la toma de decisiones en la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en urbanizaciones y condominios. *Proyecto de Graduación (Licenciatura en Ingeniería Ambiental)*. San José, Costa Rica. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9227/Proyecto%20Final%20de%20Graduacion%20Alejandro%20Campos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CFIA. (Abril-Junio de 2016). *REVISTA CFIA*(Ed. 264), 17.

CFIA, C. F. (2016). *Guia Normativa y Consideraciones Aplicables a la Construcción*. San José, Costa Rica.

Comisión Nacional del Agua. (Diciembre de 2009). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, Alcantarillado Sanitario*. Tlalpan, México D.F., México.

Corrales Chacón, E. (01 de Noviembre de 2011). Dimensionamiento preliminar de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Urbanización Jorge Debravo, en el Distrito de Turrialba (Tesis de Pregrado). *Universidad de Costa Rica*. San Jose, San Jose, Costa Rica.

Decreto Ejecutivo No.32133-S. (7 de Diciembre de 2004). *Nº 239*. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.

Espinoza, Y. T. (2014). *DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA PARROQUIE DAYUMA DEL CANTON DE ORELLA*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/234591094.pdf>

Eugenio Ruiz Sancho, J. A. (25 de Agosto de 2016). Análisis y propuesta para mejoras en el alcantarillado sanitario y Diseño para un sistema de tratamiento de las aguas residuales para la ciudad de Turrialba (Tesis de Pregrado). *Universidad Central*. San Jose, San Jose, Costa Rica.

GONZÁLEZ, O. M. (Enero de 2005). DISEÑO DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO DE LA CIUDAD DE TURIN, DEPARTAMENTO DE AHUACHAPAN. *UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL*. San Salvador , Salvador , Salvador .

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Segunda Edición ed.). México D.F., México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.,.

INEC. ((2000)). *CENSOS 2000-2011*. Obtenido de Copyright 2016 - INEC Costa Rica: <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>

INEC. (2011). *Censos Nacionales y Vivienda 2000 y 2011*. Recuperado el 25 de Abaril de 2020, de Indicadores Cantonales: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos/poblacion/estadisticas/resultados/replaccenso2011-02.pdf.pdf>

INEC. (Octubre de 2018). Encuesta Nacional de Hogares Julio 2018. *Resultados Generales*. San José, Costa Rica. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/enaho-2018.pdf>

Irne Alejandro Manrique Prieto, J. M. (NOVIEMBRE de 2016). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE SEDIMENTACIÓN PARA LA EVALUACION DE LOS PROCESOS DE REMOCION Y EFICIENCIA EN EL

TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (TESIS DE PRGRADO).

UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA . BOGOTA, COLOMBIA,  
COLOMBIA. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13900/4/DISE%C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20UNA%20TORRE%20DE%20SEDIMENTACI%C3%93N%20PARA%20LA%20EVALUACI%C3%93N%20DE%20LOS%20PROCESOS%20DE%20REMOCI%C3%93.pdf>

López Cualla, R. A. (Abril de 2010). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados* (Segunda Edición ed.). Bogotá, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

López, I. H. (04 de Julio de 2013). *Laboratorio Costarricense de Metrología*.

Obtenido de

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/pronunciamiento/pro\\_ficha.aspx?param1=PRD&param6=1&nDictamen=17686&strTipM=T](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/pronunciamiento/pro_ficha.aspx?param1=PRD&param6=1&nDictamen=17686&strTipM=T)

Meneses, C. V. (Enero de 2010). Análisis de Bacterias comunes en Planta de Tratamiento de diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes (Tesis de Pregrado). *Universidad de Costa Rica*. San Jose, San Jose, Costa Rica.

Minae. (2016). *Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales*. Obtenido de

<https://aya.go.cr/Noticias/Documents/Politica%20Nacional%20de%20Saneamiento%20en%20Aguas%20Residuales%20marzo%202017.pdf>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (mayo de 2014).

*Municipalidad de San Mateo Sitio Oficial*. Recuperado el 11 de noviembre de 2018, de Marco Normativo: <http://municipalidadesanmateo.go.cr/wp-content/uploads/2017/06/Region-Pacifico-Central-MIDEPLAN.pdf>

- Ministerio de Salud. (Febrero de 2004). Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas. *Serie Análisis de Situación de Salud; no. 13*. San José, Costa Rica: Organización Panamericana de la Salud. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de <http://www.bvs.sa.cr/php/situacion/agua.pdf>
- Muñoz, D. F. (2011). Manual de Tratamiento Biológicos de Agua Residuales para poblaciones medianas de Región Sur de Ecuador . *Universidad Técnica Particular de Catalina de Loja* . Loja , Ecuador , Ecuador :  
[file:///C:/Users/enriq/Downloads/TRATAMIENTOS%20BIOLÓGICOS%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20PARA%20POBLACIONES%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/enriq/Downloads/TRATAMIENTOS%20BIOLÓGICOS%20DE%20AGUAS%20RESIDUALES%20PARA%20POBLACIONES%20(1).pdf).
- Murcia Durán, L. F. (Junio de 2005). Curso de Acueductos y Alcantarillados con Uso de Multimedia para Educación a Distancia. Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de Noviembre de 2018, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/10194/MurciaDur%C3%A1nLuisFelipe2005.pdf;jsessionid=117C779B01FA90C53674132834A2066C?sequence=2>
- Parra, J. A. (1981). *Universidad Nacional, Facultad de Minas*. Obtenido de Tratamiento de Agua: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45\\_-\\_4\\_Capi\\_3.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45_-_4_Capi_3.pdf)
- Peña Chacón, M. (Marzo de 2008). Gestión Integrada del Recurso Hídrico en el Ordenamiento Jurídico Costarricense. (Primera Edición). San José, Costa Rica: Editorial Investigaciones Jurídicas S.A. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de [http://cmsdata.iucn.org/downloads/cel10\\_penachacon01.pdf](http://cmsdata.iucn.org/downloads/cel10_penachacon01.pdf)
- PNUD-FOMUDE. (Diciembre de 2009). *Plan de Desarrollo Humano Local del Cantón de San Mateo 2010\_2020*. Recuperado el 12 de Noviembre de

2018, de Municipalidad de San Mateo:

<http://municipalidadesanmateo.go.cr/wp-content/uploads/2017/06/Plan-de-Desarrollo-Humano-Local-Cant%C3%B3n-San-Mateo.pdf>

Recytrans. (28 de 11 de 2013). *Soluciones Globales, para el Reciclaje*. Obtenido de <http://www.recytrans.com/blog/aguas-residuales/>, recuperado 20 abril 2020

Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales . (30 de OCTUBRE de 1973). *EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA EL MINISTRO DE AMBIENTE U ENERGIA Y LA MINISTRA DE SALUD*. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/legislacion/2007/de-33601.pdf>

Rosales, W. H. (FEBRERO de 2015). DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL ESTADIO DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE CANTON IBARRA PROVINCIA IMBABURA (TESIS DE PREGADO). *UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE ECUADOR* . IBARRA, IMBABURA, ECUADOR .

Ruiz Fallas, F. (Julio de 2012). *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica. Situación Actual y Perspectiva*. San José, Costa Rica. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>

Salas, J. J. (julio de 2018). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales*. Obtenido de iagua: <http://alianzarioscuencascr.org/index.php/es/component/content/article/104-publicaciones/rios-y-manglares/2436-introduccion-a-los-humedales-artificiales-como-tratamiento-de-las-aguas-residuales#>

SETENA. (12 de MARZO de 2014). *ACUERDO DE LA COMISIÓN PLENARIA*

*GUIA AMBIENTAL PARA LA CONTRUCCION* . Obtenido de

<https://setena.go.cr/documentos/Normativa/RES-479-2014.pdf>

Solano Arce, M. (Noviembre de 2011). Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media - alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo. *Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en el Manejo de Recursos Hídricos*.

Heredia, Costa Rica. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018, de

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>

Sslud, O. P. (2005). *Guia para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores*.

Obtenido de <https://es.slideshare.net/wilfredosotoleon/diseo-de-desarenador>

Strauss, A., & Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada*. (Primera edición (español) ed.). Medellín, Antioquía, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Tuset, S. (05 de Setiembre de 2000). *Condorchen Envitech*. Obtenido de

<https://blog.condorchem.com/caracterizacion-del-agua-residual/>

Recuperado 20 Abril 2020

UNIDAD EJECUTORA AYA- JBIC. (2010). Cantidad de aguas residuales

domésticas por persona al día. San José, Costa Rica. Recuperado el 14 de

Noviembre de 2018, de <http://www.mejoramientoambiental.com/>

UNOPS . (16 de AGOSTO de 2019). *CONSTRUCCION DE LA RED COLECTORA, ESTACION DE BOMBEO Y LINEA DE IMPULSION PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD DE PUERTO VIEJO TALAMANCA, LIMON COSTA RICA* . Obtenido de [file:///C:/Users/enriq/Downloads/97096\\_190816%20Aclaraciones%2002\\_ITB-CRPC-97096-2019-02\\_.pdf](file:///C:/Users/enriq/Downloads/97096_190816%20Aclaraciones%2002_ITB-CRPC-97096-2019-02_.pdf)

Valverde Marín, V. (10 de Mayo de 2012). Análisis y Propuesta de Ampliación del Alcantarillado Sanitario y . *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Liberia* . San Pedro, Sam José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el Noviembre de 2018, de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/An%C3%A1lisis%20y%20Propuesta%20de%20Ampliacion%20del%20Alcantarillado.pdf>

WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS, M. P. (Octubre de 2012). *FUNDAMENTOS DE DISEÑO DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/298354134\\_Disenos\\_de\\_Plantas\\_de\\_Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales](https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenos_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales)

## CAPÍTULO V ANEXOS

Cálculo y Características de Diseño de la Red de Alcantarillado Sanitario										
Numero Tramo	Nudo Punto Inicial	Nudo Punto Final	Nivel Rasante Calle Punto Inicial	Nivel Rasante Calle Punto Final	Pozo Altura Inicial	Pozo Altura Final	Nivel Tubería Punto Inicial	Nivel Tubería Punto Final	Longitud en Metros	Pendiente en mm
T-1	A	B	258	256.5	1.5	1.5	256.5	255.6	100	0.009
T-2	B	C	259	255.5	1.5	3.5	255.6	254.5	100	0.11
T-3	C	D	258	256.5	1.5	3.5	254.5	255.7	100	0.008
T-4	D	E	260	258.5	1.5	4.3	255.7	251.5	96.97	0.0433
T-5	E	F	253	251.5	1.5	1.5	251.5	250.8	109.58	0.0063
T-6	F	G	254	252.5	1.5	3.2	250.8	249.7	101.78	0.01
T-7	G	H	257	255.5	1.5	7.2	249.7	249.5	100.17	0.0199
T-8	H	I	255	253.5	1.5	5.5	249.5	251.5	96.87	-0.02
T-9	I	J	255	253.5	1.5	4.5	251.5	250.5	17.61	0.056
T-10	J	K	246	244.5	1.5	1.5	250.5	244.5	100	0.059
T-11	K	PTAR	239	237.5	1.5	1.5	244.5	237.5	100.02	0.0699

Cálculo de Caudales por tramo									
Numero Tramo	Caudal Promedio Diario (Qpap)	Caudal Promedio Residual (Qparo)	Caudal de Infiltración (Qinf)	Caudal Minimo de Diseño (Qmin)	Caudal Maximo de Diseño (Qmax)	Caudal Anterior (Qant)	Caudal Actual (Qact)	Caudal acumulado	Caudal acumulado en Metros cubicos (m3)
T-1	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0171	0.0171	0.000017
T-2	0.0040	0.2000	0.0076	0.2476	0.2160	0.0000	0.0599	0.0599	0.000060
T-3	0.0040	0.2000	0.0078	0.2478	0.2160	0.0000	0.0161	0.0161	0.000016
T-4	0.0040	0.2000	0.0095	0.2495	0.2160	0.0000	0.0376	0.0376	0.000038
T-5	0.0040	0.2000	0.0081	0.2481	0.2160	0.0000	0.0143	0.0143	0.000014
T-6	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0181	0.0181	0.000018
T-7	0.0040	0.2000	0.0077	0.2477	0.2160	0.0000	0.0255	0.0255	0.000026
T-8	0.0040	0.2000	0.0074	0.2474	0.2160	0.0000	0.0255	0.0255	0.000026
T-9	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0427	0.0427	0.000043
T-10	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0439	0.0439	0.000044
T-11	0.0040	0.2000	0.0140	0.2540	0.2160	0.0000	0.0477	0.0477	0.000048

Resumen de Diseño de Tramos de Tubería de alcantarilla sanitario										
Numero Tramo	Cudal (Q m3/s)	Coefficiente Manning (n)	Pendientes (S)	Diametro Comercial (m)	Velocidad Manning (V m/s)	Tirante Hidraulico (m)	Tirante (%)	Numero de Froude (NF)	Radio Hidraulico (m)	Fuerza Tractiva (kg/m2)
T-1	0.000017	0.010	0.9	0.15	0.1641	0.0034	34.0%	1.10	0.0023	0.0048
T-2	0.000060	0.010	11	0.15	0.5752	0.0035	35.0%	3.81	0.0023	0.0203
T-3	0.000016	0.010	1.8	0.15	0.4537	0.0029	29.0%	1.49	0.0019	0.0050
T-4	0.000038	0.010	4.33	0.15	0.3619	0.0035	35.0%	2.39	0.0023	0.0102
T-5	0.000014	0.010	0.63	0.15	0.1366	0.0034	34.0%	0.91	0.0023	0.0044
T-6	0.000018	0.010	1	0.15	0.1732	0.0035	35.0%	1.15	0.0023	0.0050
T-7	0.000026	0.010	1.99	0.15	0.2460	0.0035	35.0%	1.62	0.0023	0.0066
T-8	0.000026	0.010	2	0.15	0.4214	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0066
T-9	0.000043	0.010	5.6	0.15	0.4110	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0121
T-10	0.000044	0.010	5.9	0.15	0.4214	0.0035	35.0%	2.70	0.0023	0.0125
T-11	0.000048	0.010	6.99	0.15	0.459	0.0035	35.0%	3.04	0.0023	0.0142

**Cuadro No. 1 Metodo Aritmetico o Lineal**  
**POBLACION FUTURA PROYECTADO A 30 AÑOS DEL PUEBLO DE SAN MATEO DE ALAJUELA**  
**Costa Rica: Proyecciones de poblacion según provincia, cantón y distrito al 30 de junio de cada año**  
**2016 - 2050**

Provincia, cantón y distrito	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050
San Mateo	6 854	6 931	6 997	7 070	7 141	7 208	7 276	7 338	7 397	7 465	7 789	8 112	8 436	8 759	9 083
San Mateo	2 992	3 007	3 016	3 033	3 046	3 058	3 071	3 077	3 086	3 097	3 147	3 196	3 246	3 295	3 345
Desmonte	1 110	1 126	1 143	1 158	1 174	1 187	1 201	1 216	1 229	1 246	1 322	1 398	1 474	1 551	1 627
Jesús María	1 399	1 422	1 439	1 456	1 478	1 496	1 517	1 534	1 551	1 572	1 668	1 764	1 860	1 957	2 053
Labrador	1 353	1 376	1 399	1 423	1 443	1 467	1 487	1 511	1 531	1 550	1 652	1 753	1 855	1 957	2 058

TOTAL			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	7141	2025	7465
2021	7208	2030	7789
2022	7276	2035	8112
2023	7338	2040	8436
2024	7397	2045	8759
2025	7465	2050	9083

Tasa Crecimiento	
K(2025-2020)	64.80
K(2025-2021)	64.25
K(2025-2022)	63.00
K(2025-2023)	63.50
K(2025-2024)	68.00
PROMEDIO	64.71

SAN MATEO			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	3046	2025	3097
2021	3058	2030	3147
2022	3071	2035	3196
2023	3077	2040	3246
2024	3086	2045	3295
2025	3097	2050	3345

Tasa Crecimiento	
K(2025-2020)	10.20
K(2025-2021)	9.75
K(2025-2022)	8.67
K(2025-2023)	10.00
K(2025-2024)	11.00
PROMEDIO	9.92

DESMONTE			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1174	2025	1246
2021	1187	2030	1322
2022	1201	2035	1398
2023	1216	2040	1474
2024	1229	2045	1551
2025	1246	2050	1627

Tasa Crecimiento	
K(2025-2020)	14.40
K(2025-2021)	14.75
K(2025-2022)	15.00
K(2025-2023)	15.00
K(2025-2024)	17.00
PROMEDIO	15.23

JESUS MARIA			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1478	2025	1572
2021	1496	2030	1668
2022	1517	2035	1764
2023	1534	2040	1860
2024	1551	2045	1957
2025	1572	2050	2053

Tasa Crecimiento	
K(2025-2020)	18.80
K(2025-2021)	19.00
K(2025-2022)	18.33
K(2025-2023)	19.00
K(2025-2024)	21.00
PROMEDIO	19.23

LABRADOR			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1443	2025	1550
2021	1467	2030	1652
2022	1487	2035	1753
2023	1511	2040	1855
2024	1531	2045	1957
2025	1550	2050	2058

Tasa Crecimiento	
K(2025-2020)	21.40
K(2025-2021)	20.75
K(2025-2022)	21.00
K(2025-2023)	19.50
K(2025-2024)	19.00
PROMEDIO	20.33

$$K = \frac{Pf - Pb}{Tf - Tb}$$

$$P = Pf + k(Tf - Tb)$$

**POBLACION FUTURA PROYECTADO A 30 AÑOS DEL PUEBLO DE SAN MATEO DE ALAJUELA**

**Metodo Goemetrico**

Costa Rica: Proyecciones de población según provincia, cantón y distrito al 30 de junio de cada año  
2016 - 2050

Provincia, cantón y distrito	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050
San Mateo	6 854	6 931	6 997	7 070	7 141	7 208	7 276	7 338	7 397	7 465	7 804	8 162	8 542	8 944	9 370
San Mateo	2 992	3 007	3 016	3 033	3 046	3 058	3 071	3 077	3 086	3 097	3 147	3 198	3 250	3 303	3 357
Desmonte	1 110	1 126	1 143	1 158	1 174	1 187	1 201	1 216	1 229	1 246	1 326	1 411	1 502	1 598	1 701
Jesús María	1 399	1 422	1 439	1 456	1 478	1 496	1 517	1 534	1 551	1 572	1 673	1 781	1 895	2 017	2 146
Labrador	1 353	1 376	1 399	1 423	1 443	1 467	1 487	1 511	1 531	1 550	1 657	1 772	1 895	2 026	2 167

TOTAL			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	7141	2025	7465
2021	7208	2030	7800
2022	7276	2035	8150
2023	7338	2040	8516
2024	7397	2045	8898
2025	7465	2050	9298

Tasa Crecimiento	
rg(2025-2020)	0.00891
rg(2025-2021)	0.00880
rg(2025-2022)	0.00858
rg(2025-2023)	0.00862
rg(2025-2024)	0.00919
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00882</b>

SAN MATEO			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	3046	2025	3097
2021	3058	2030	3147
2022	3071	2035	3198
2023	3077	2040	3250
2024	3086	2045	3303
2025	3097	2050	3357

Tasa Crecimiento	
rg(2025-2020)	0.00333
rg(2025-2021)	0.00317
rg(2025-2022)	0.00281
rg(2025-2023)	0.00324
rg(2025-2024)	0.00356
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.00322</b>

DESMONTE			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1174	2025	1246
2021	1187	2030	1326
2022	1201	2035	1411
2023	1216	2040	1502
2024	1229	2045	1598
2025	1246	2050	1701

Tasa Crecimiento	
rg(2025-2020)	0.01198
rg(2025-2021)	0.01220
rg(2025-2022)	0.01234
rg(2025-2023)	0.01226
rg(2025-2024)	0.01383
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.01252</b>

JESUS MARIA			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1478	2025	1572
2021	1496	2030	1673
2022	1517	2035	1781
2023	1534	2040	1895
2024	1551	2045	2017
2025	1572	2050	2146

Tasa Crecimiento	
rg(2025-2020)	0.01241
rg(2025-2021)	0.01247
rg(2025-2022)	0.01194
rg(2025-2023)	0.01231
rg(2025-2024)	0.01354
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.01253</b>

LABRADOR			
Muestra		Poblacion Futura	
Año	Poblacion	Año	Poblacion
2020	1443	2025	1550
2021	1467	2030	1657
2022	1487	2035	1772
2023	1511	2040	1895
2024	1531	2045	2026
2025	1550	2050	2167

Tasa Crecimiento	
rg(2025-2020)	0.01441
rg(2025-2021)	0.01385
rg(2025-2022)	0.01393
rg(2025-2023)	0.01282
rg(2025-2024)	0.01241
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.01348</b>

$$P_f = P_u (1 + r)^{(t_f - t_u)}$$

$$rg = \left( \frac{P_u}{P_c} \right)^{\frac{1}{t_u - t_c}} - 1$$

**POBLACION FUTURA PROYECTADO A 30 AÑOS DEL PUEBLO DE SAN MATEO DE ALAJUELA**

**Metodo Wappaus**

Costa Rica: Proyecciones de población según provincia, cantón y distrito al 30 de junio de cada año  
2016 - 2050

Provincia, cantón y distrito	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2030	2035	2040	2045	2050
San Mateo	6 854	6 931	6 997	7 070	7 141	7 208	7 276	7 338	7 397	7 465	7 875	8 165	8 470	8 791	9 130
San Mateo	2 992	3 007	3 016	3 033	3 046	3 058	3 071	3 077	3 086	3 097	3 158	3 199	3 240	3 282	3 325
Desmonte	1 110	1 126	1 143	1 158	1 174	1 187	1 201	1 216	1 229	1 246	1 344	1 413	1 486	1 563	1 645
Jesús María	1 399	1 422	1 439	1 456	1 478	1 496	1 517	1 534	1 551	1 572	1 695	1 782	1 874	1 971	2 074
Labrador	1 353	1 376	1 399	1 423	1 443	1 467	1 487	1 511	1 531	1 550	1 678	1 771	1 870	1 974	2 086

Muestra		Poblacion Futura						
Año	Poblacion	Año	i(2025-2020)	i(2025-2021)	i(2025-2022)	i(2025-2023)	i(2025-2024)	PROMEDIO
2020	7141	2025	7465	7531	7594	7660	7743	7598
2021	7208	2030	7735	7799	7858	7927	8032	7870
2022	7276	2035	8015	8078	8132	8205	8333	8153
2023	7338	2040	8306	8367	8416	8492	8645	8445
2024	7397	2045	8608	8668	8711	8791	8970	8749
2025	7465	2050	8923	8980	9017	9101	9308	9066

Tasa Crecimiento	
i(2025-2020)	0.88731
i(2025-2021)	0.87576
i(2025-2022)	0.86476
i(2025-2023)	0.85793
i(2025-2024)	0.91509

Muestra		Poblacion Futura						
Año	Poblacion	Año	i(2025-2020)	i(2025-2021)	i(2025-2022)	i(2025-2023)	i(2025-2024)	PROMEDIO
2020	3 046	2025	3097	3107	3114	3127	3141	3117
2021	3 058	2030	3138	3146	3150	3168	3186	3158
2022	3 071	2035	3180	3187	3185	3209	3232	3199
2023	3 077	2040	3223	3227	3221	3251	3278	3240
2024	3 086	2045	3266	3268	3258	3294	3326	3282
2025	3 097	2050	3310	3310	3295	3337	3373	3325

Tasa Crecimiento	
i(2025-2020)	0.33209
i(2025-2021)	0.31682
i(2025-2022)	0.28102
i(2025-2023)	0.32394
i(2025-2024)	0.35581

Muestra		Poblacion Futura						
Año	Poblacion	Año	i(2025-2020)	i(2025-2021)	i(2025-2022)	i(2025-2023)	i(2025-2024)	PROMEDIO
2020	1 174	2025	1246	1261	1277	1292	1316	1279
2021	1 187	2030	1307	1324	1341	1357	1391	1344
2022	1 201	2035	1371	1390	1409	1425	1470	1413
2023	1 216	2040	1438	1460	1480	1497	1554	1486
2024	1 229	2045	1509	1533	1556	1573	1643	1563
2025	1 246	2050	1584	1611	1636	1653	1739	1645

Tasa Crecimiento	
i(2025-2020)	1.19008
i(2025-2021)	1.21249
i(2025-2022)	1.22599
i(2025-2023)	1.21852
i(2025-2024)	1.37374

Muestra		Poblacion Futura						
Año	Poblacion	Año	i(2025-2020)	i(2025-2021)	i(2025-2022)	i(2025-2023)	i(2025-2024)	PROMEDIO
2020	1 478	2025	1572	1592	1610	1631	1659	1613
2021	1 496	2030	1652	1673	1688	1713	1751	1695
2022	1 517	2035	1736	1758	1771	1799	1848	1782
2023	1 534	2040	1824	1848	1857	1890	1951	1874
2024	1 551	2045	1918	1943	1949	1986	2061	1971
2025	1 572	2050	2016	2044	2046	2088	2178	2074

Tasa Crecimiento	
i(2025-2020)	1.23279
i(2025-2021)	1.23859
i(2025-2022)	1.18701
i(2025-2023)	1.22344
i(2025-2024)	1.34486

Muestra		Poblacion Futura						
Año	Poblacion	Año	i(2025-2020)	i(2025-2021)	i(2025-2022)	i(2025-2023)	i(2025-2024)	PROMEDIO
2020	1 443	2025	1550	1571	1594	1610	1628	1591
2021	1 467	2030	1641	1661	1684	1695	1711	1678
2022	1 487	2035	1739	1755	1781	1784	1798	1771
2023	1 511	2040	1842	1855	1883	1878	1890	1870
2024	1 531	2045	1953	1962	1978	1978	1987	1974
2025	1 550	2050	2071	2076	2109	2083	2089	2086

Tasa Crecimiento	
i(2025-2020)	1.43000
i(2025-2021)	1.37554
i(2025-2022)	1.38294
i(2025-2023)	1.27409
i(2025-2024)	1.23337

### Metodo Geometrico

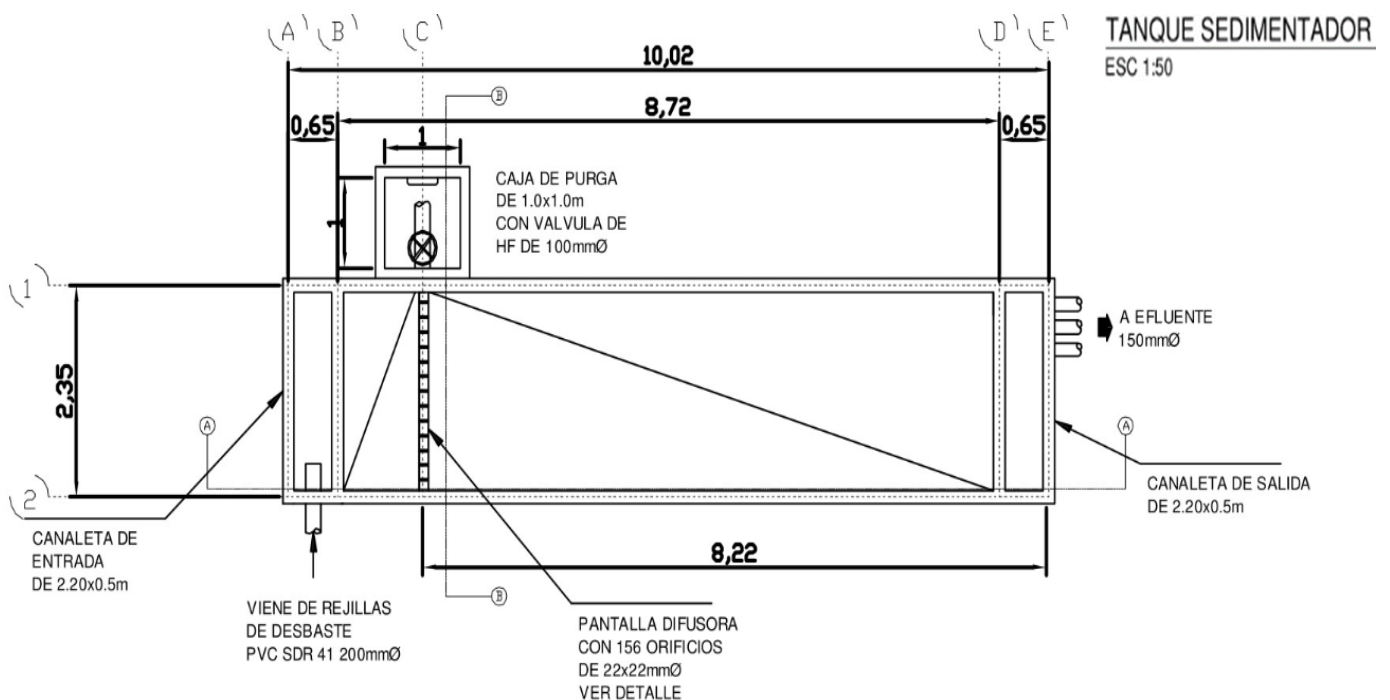
Cuadro No.2 Costa Rica: Indicadores de condiciones de habitabilidad según Cantón y Distrito del San Mateo de Alajuela Censo 2000 -2011 Proyectado al 2051

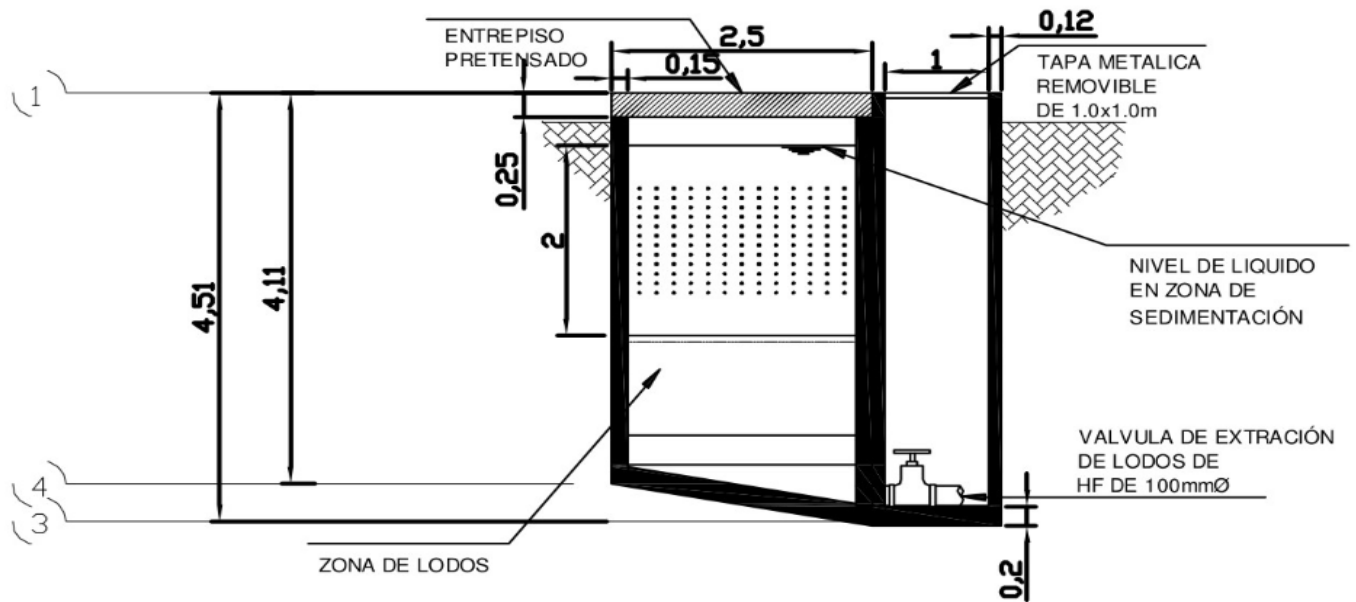
Provincia, cantón y distrito	2000	2011	2021	2031	2041	2051
San Mateo	1 419	2 461	4 088	6 835	11 503	19 482
San Mateo	702	1 166	1 849	2 933	4 652	7 379
Desmonte	211	318	462	670	973	1 413
Jesús María	506	977	1 777	3 232	5 878	10 690

### Metodo Wappaus

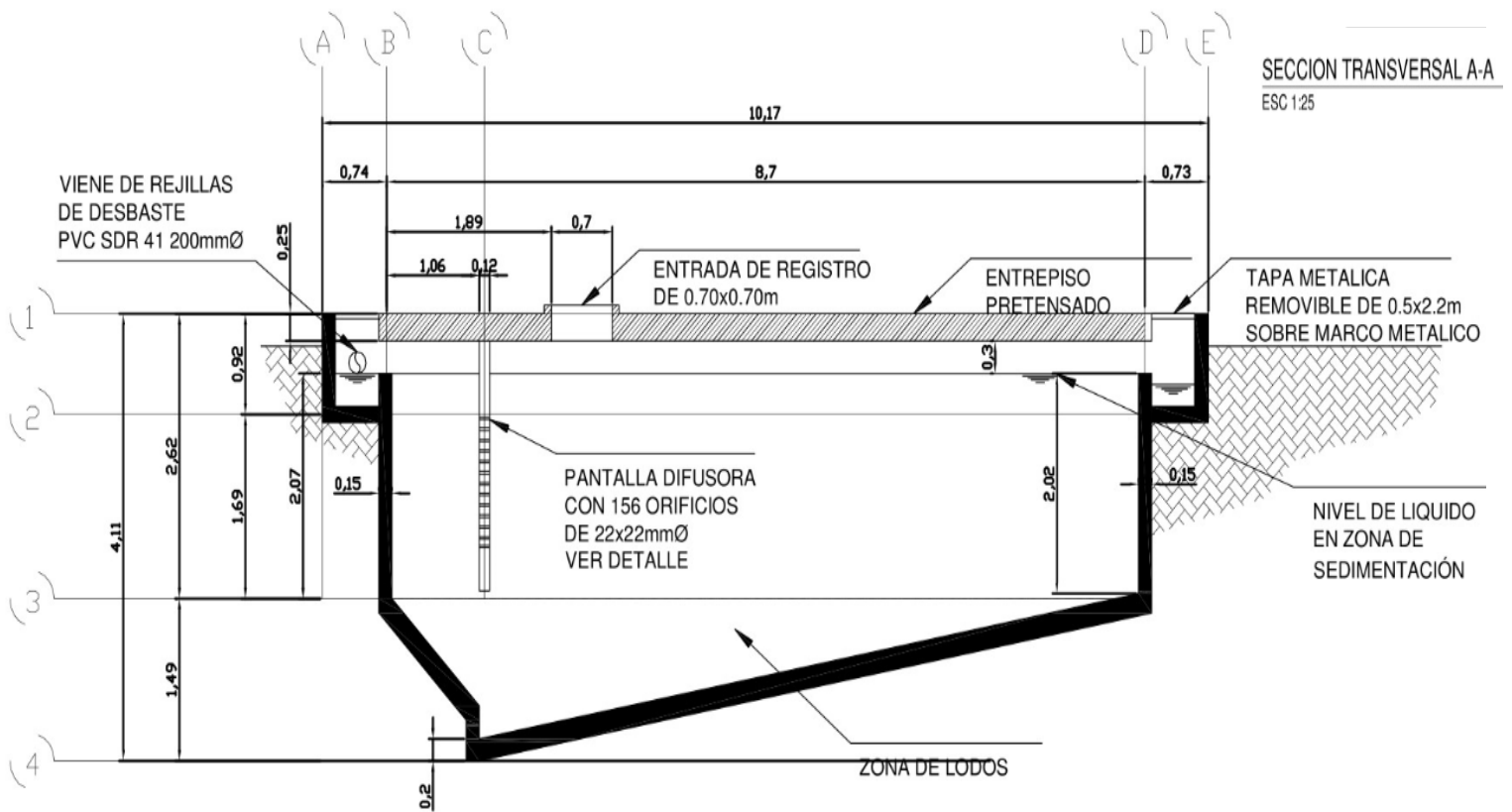
Cuadro No.2 Costa Rica: Indicadores de condiciones de habitabilidad según Cantón y Distrito del San Mateo de Alajuela Censo 2000 -2011 Proyectado al 2051

Provincia, cantón y distrito	2000	2011	2021	2031	2041	2051
San Mateo	1 419	2 461	4 293	10 653	23 789	12 389
San Mateo	702	1 166	1 907	3 532	12 146	18 374
Desmonte	211	318	469	729	1 302	4 330
Jesús María	506	977	1 917	6 392	10 341	- 10 315

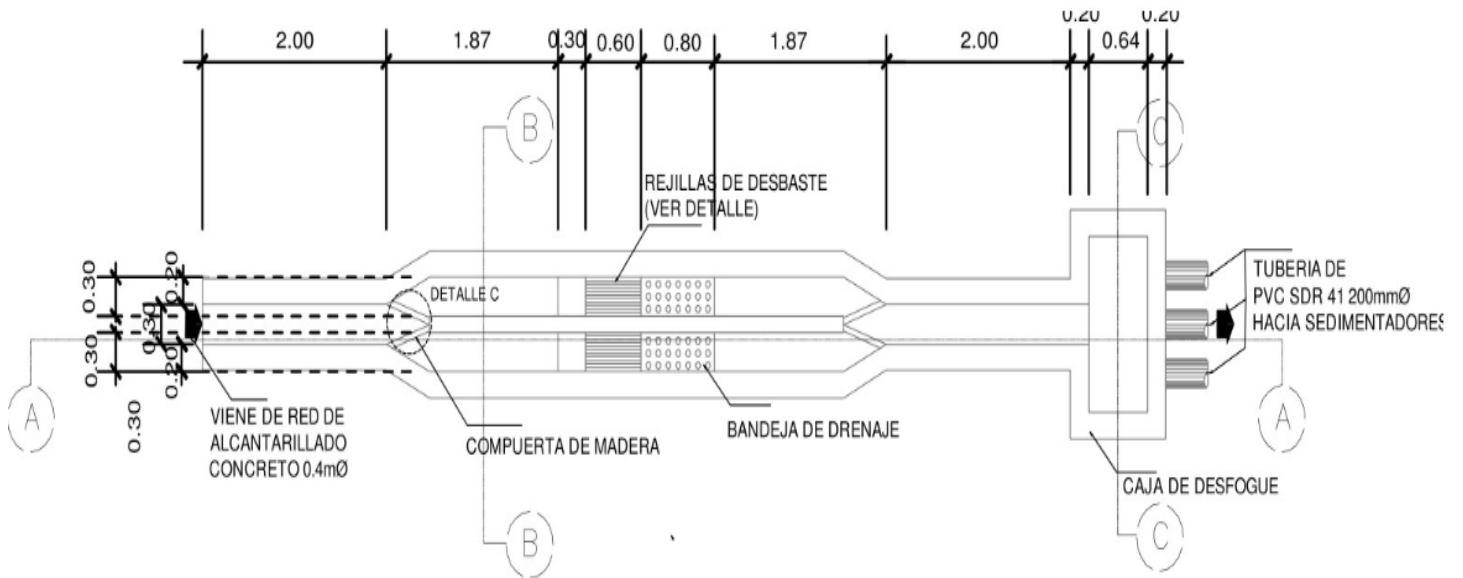




**SECCION TRANSVERSAL B-B**
  
 ESC 1:50

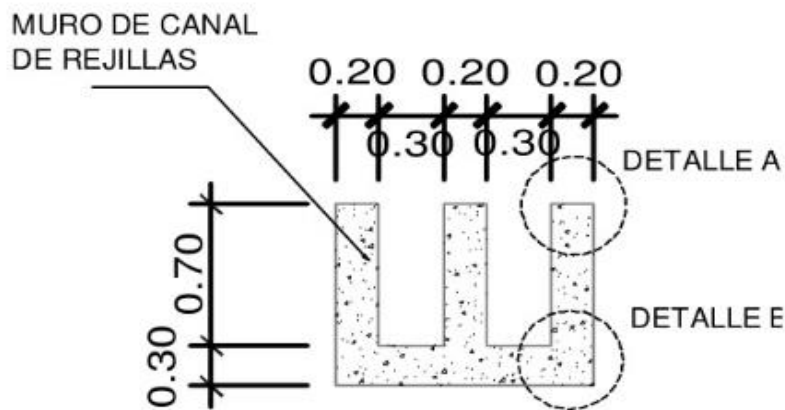


**SECCION TRANSVERSAL A-A**
  
 ESC 1:25



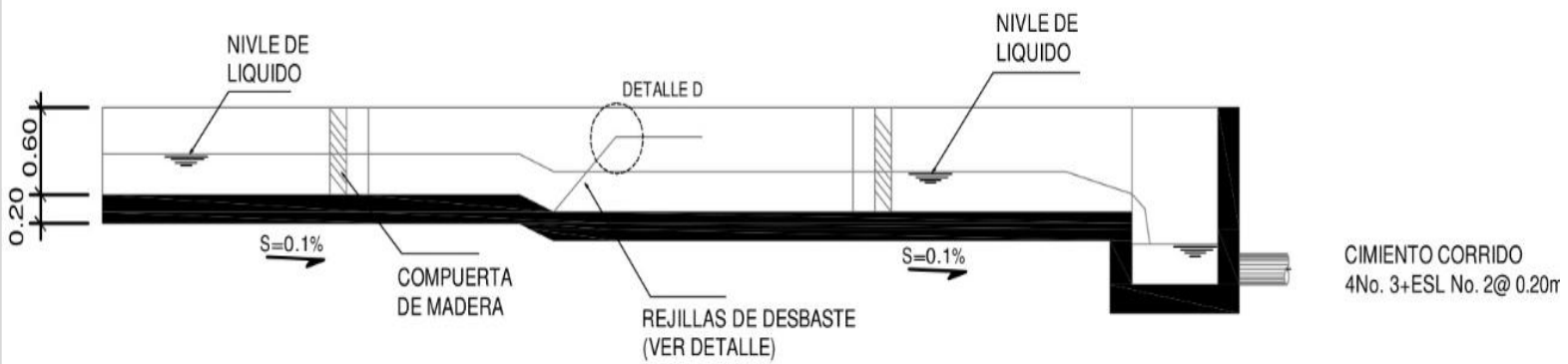
## CANAL DE REJILLAS DE DESBASTE

ESCALA 1:25



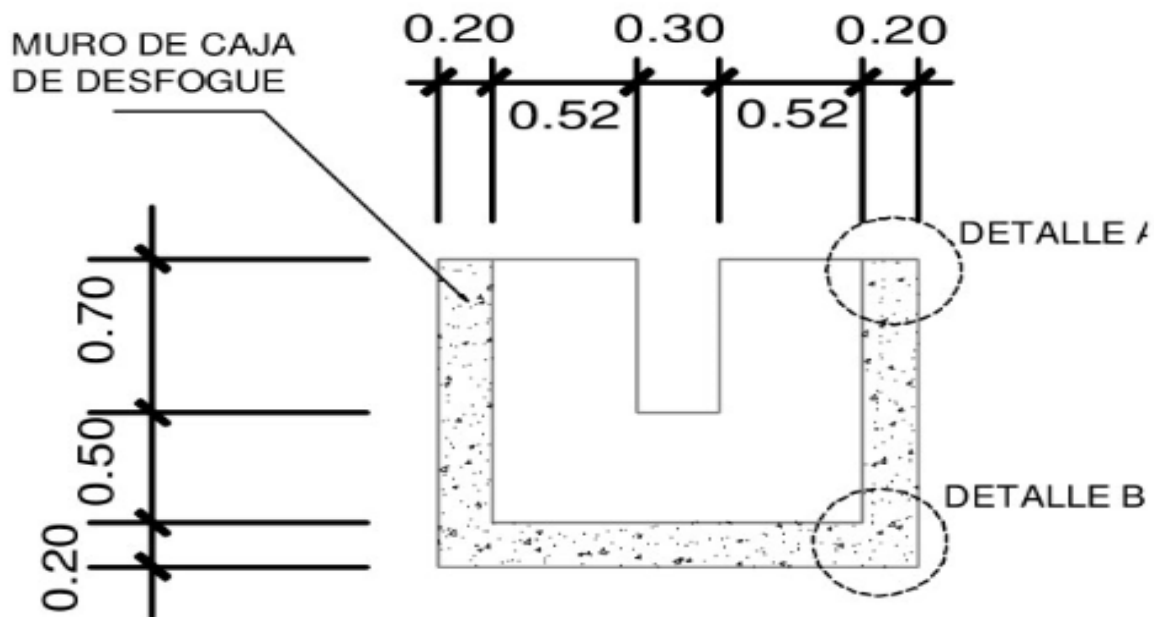
## SECCION TRANSVERSAL B-B

ESCALA 1:25



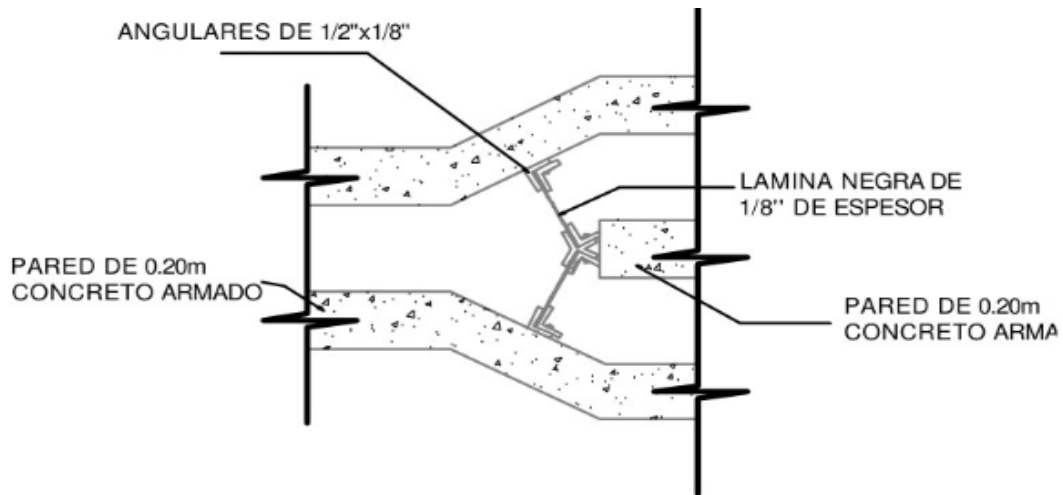
**CANAL DE REJILLAS DE DESBASTE**

ESCALA 1:25



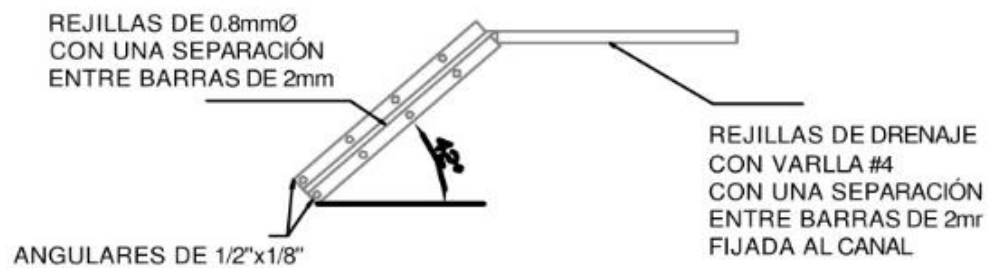
**SECCION TRANSVERSAL C-C**

ESCALA 1:25



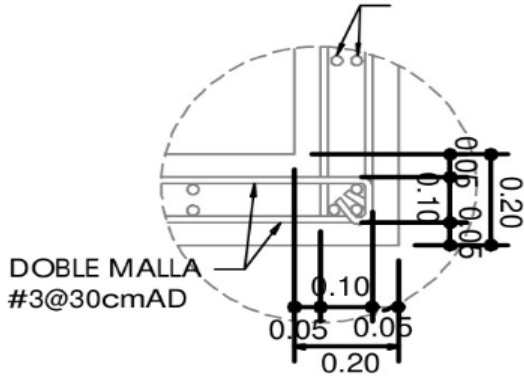
## DETALLE C (COMPUERTAS)

ESCALA 1:20

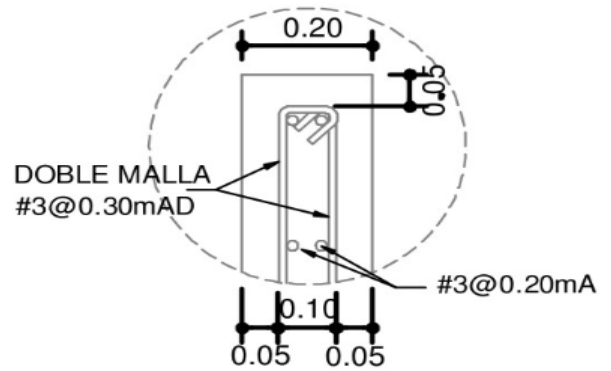


## DETALLE D (REJILLAS)

ESCALA 1:20



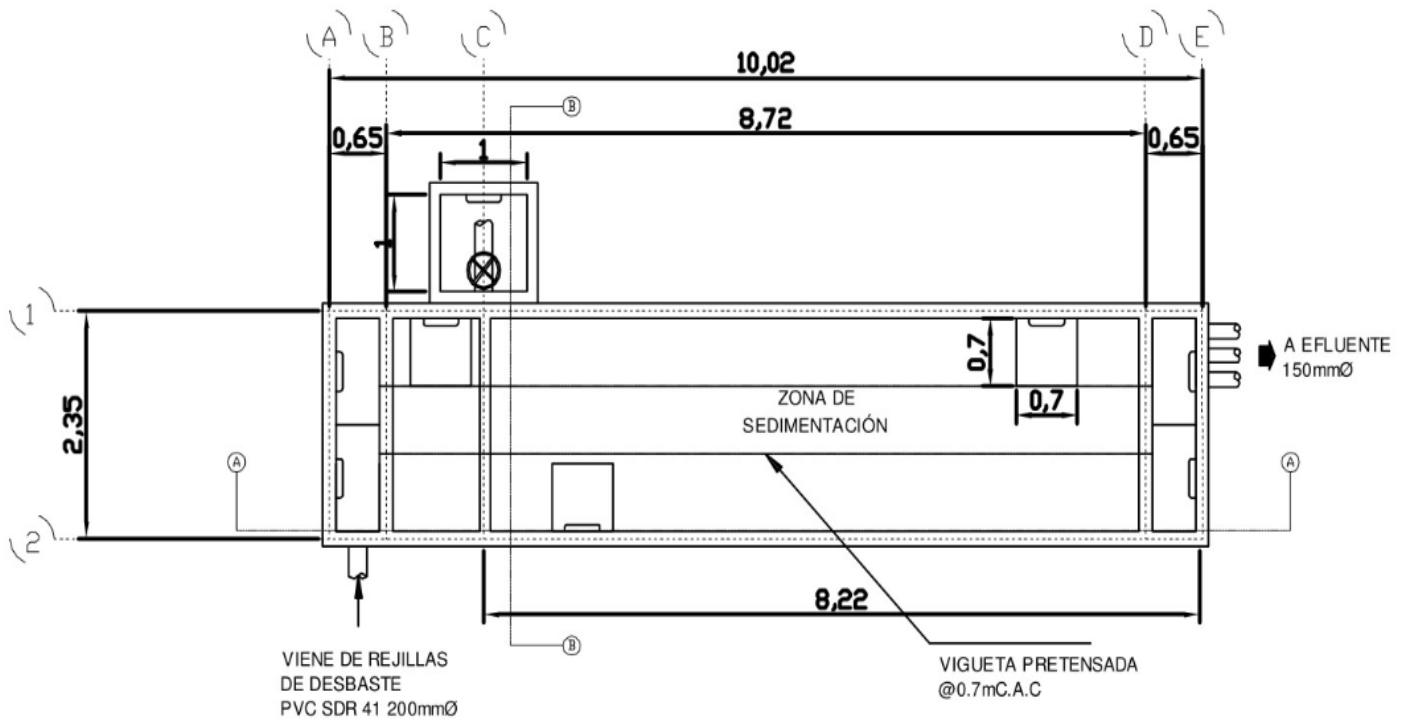
DETALLE B



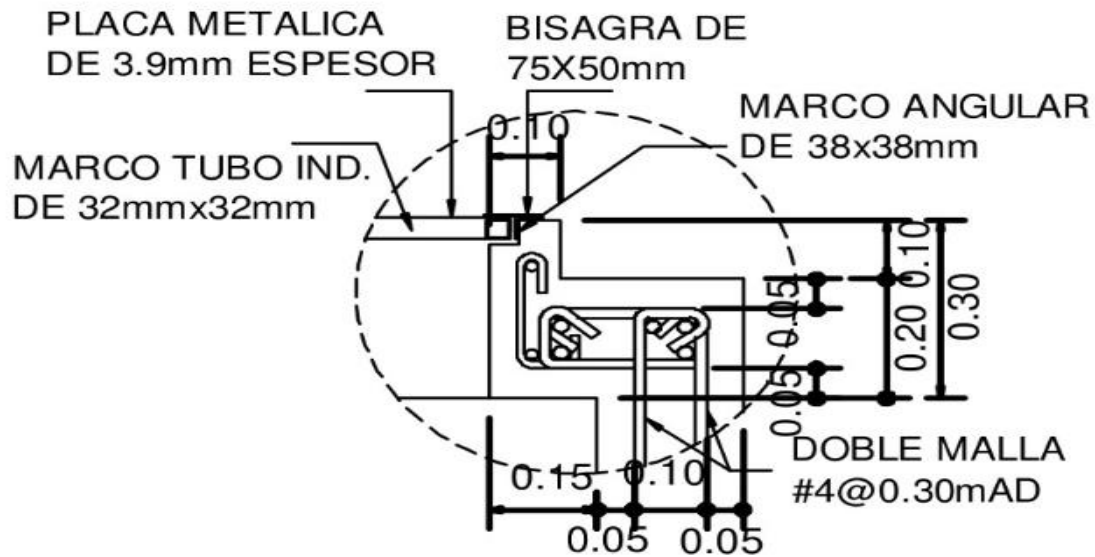
DETALLE A

## DETALLES ESTRUCTURALES

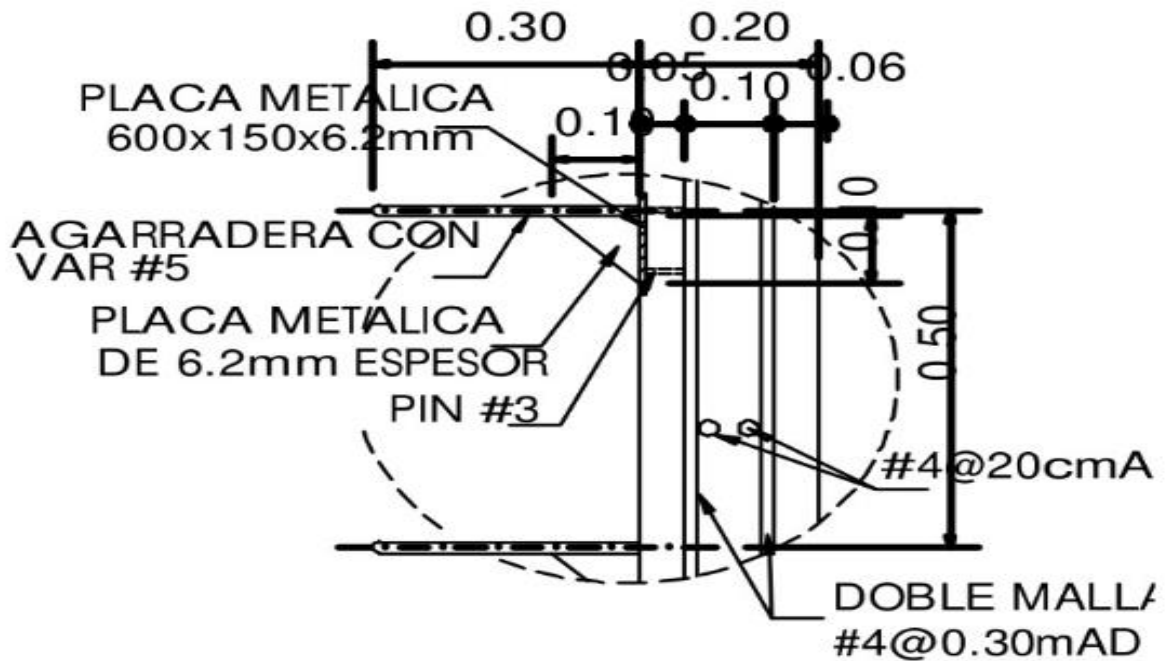
ESCALA 1:10



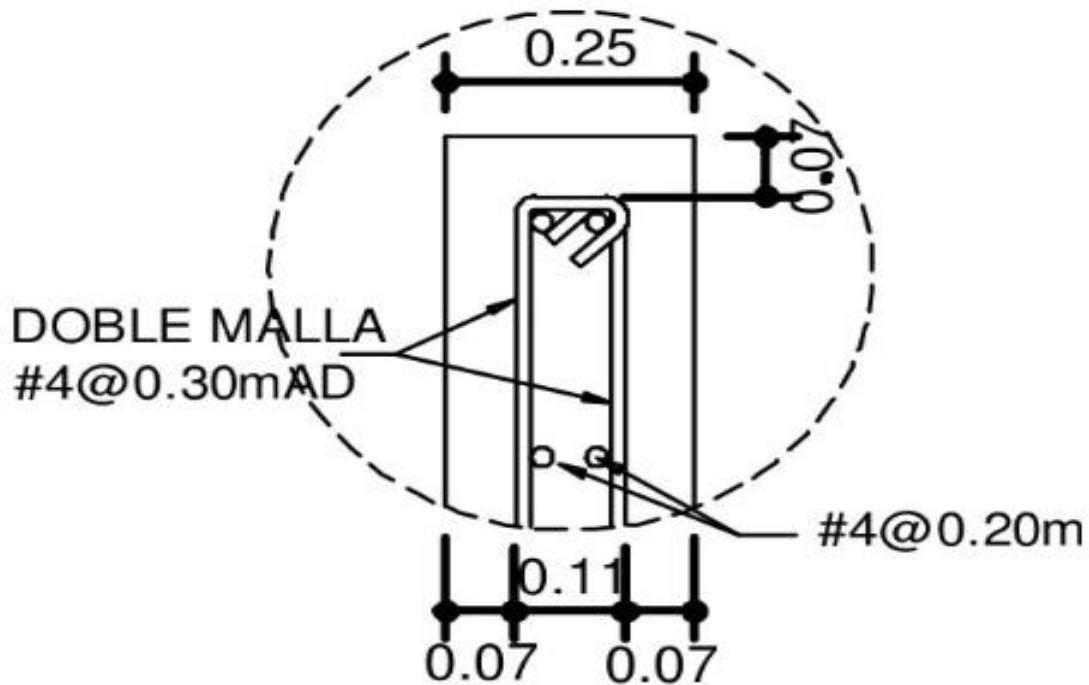
PLANTA DE ENTREPISO DE  
TANQUE DE SEDIMENTADOR  
ESC 1:50



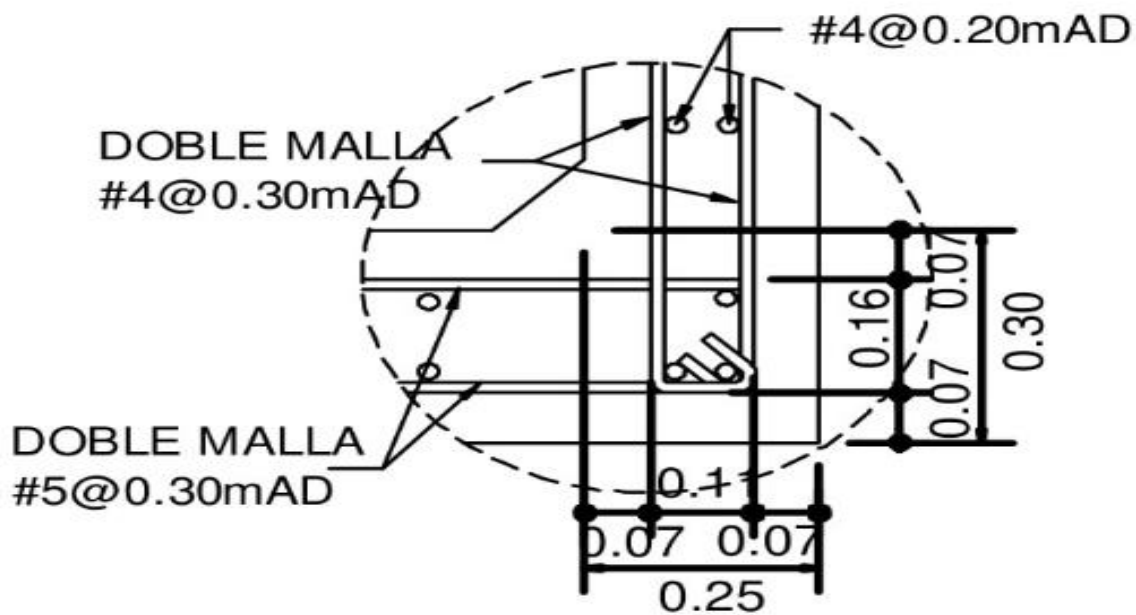
DETALLE A



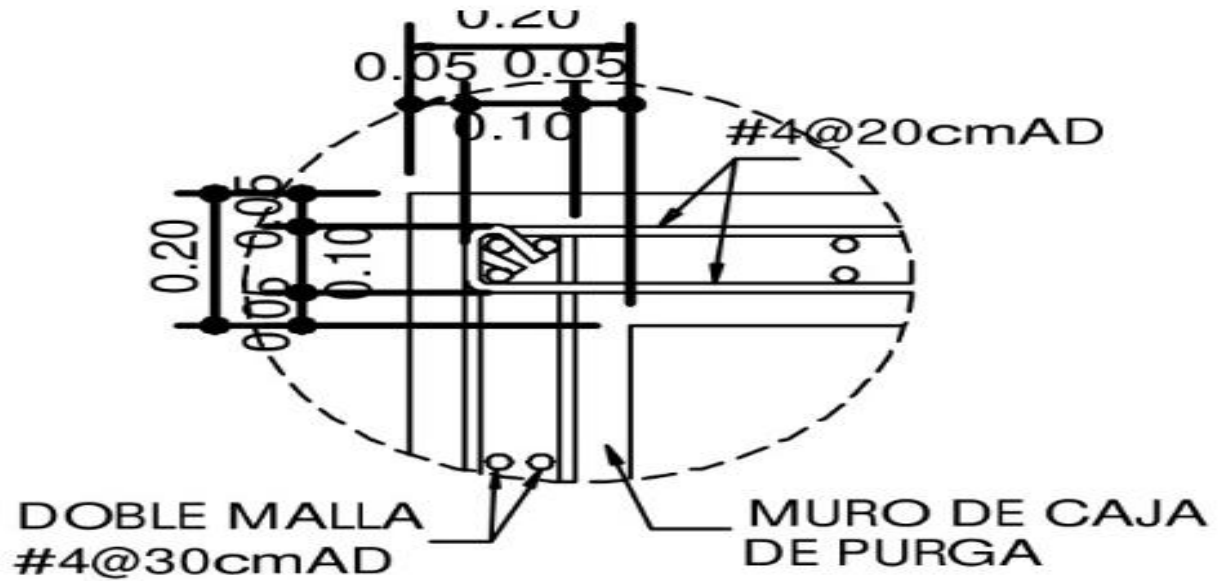
DETALLE B



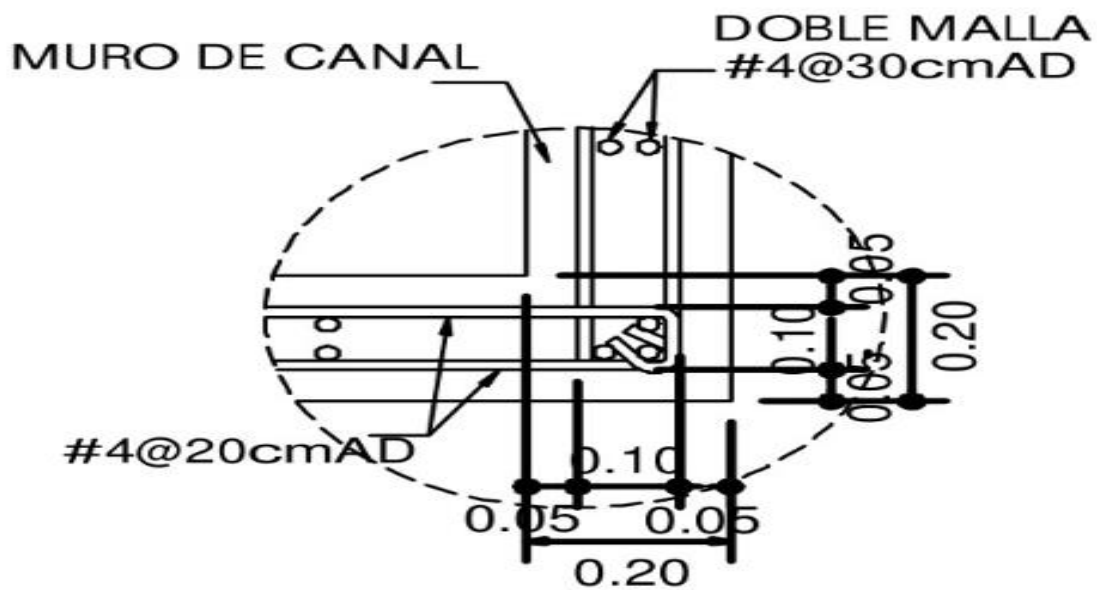
DETALLE C



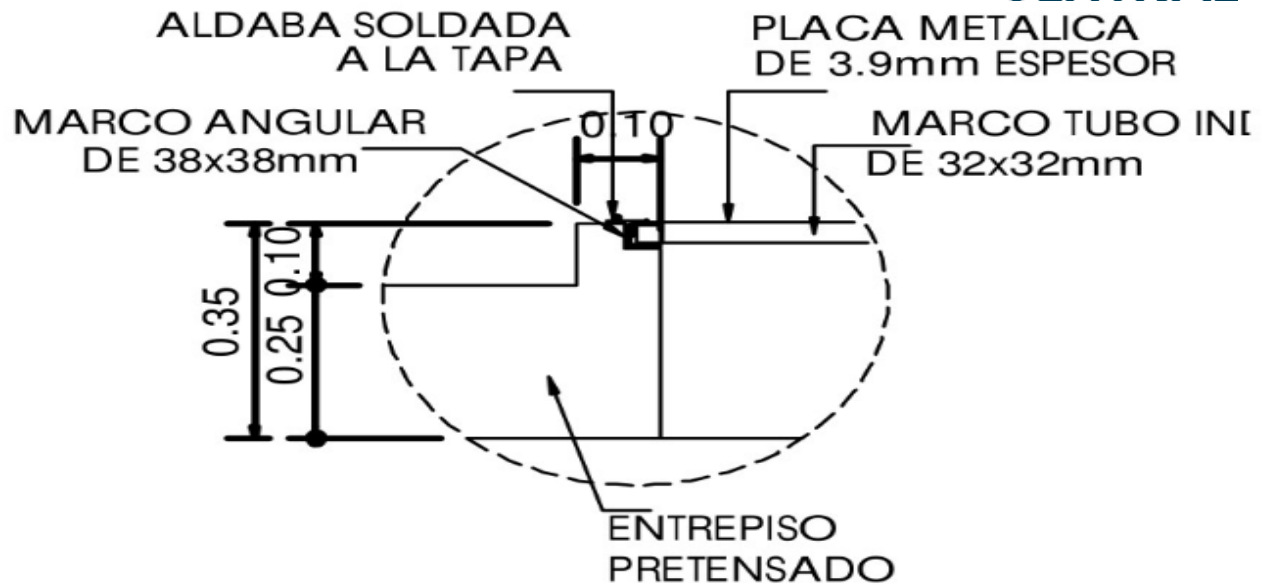
DETALLE D



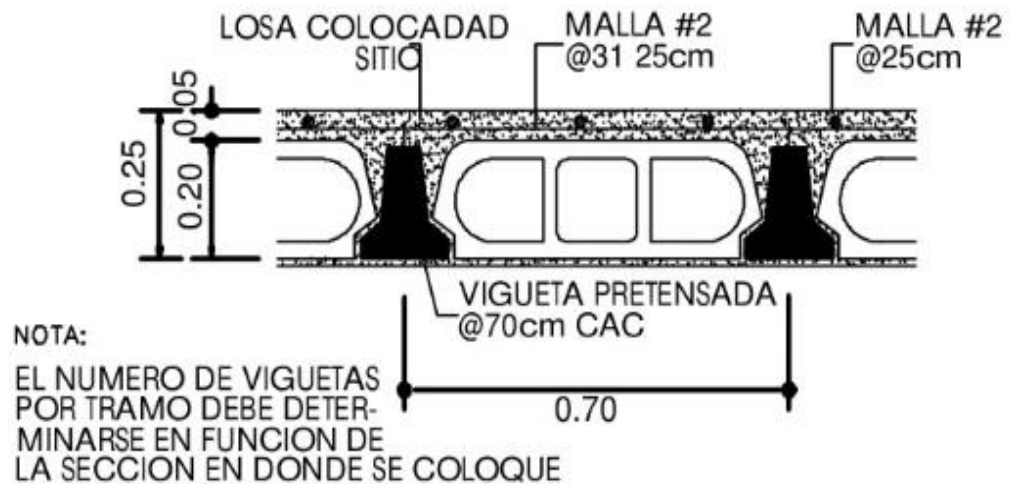
### DETALLE E



### DETALLE F



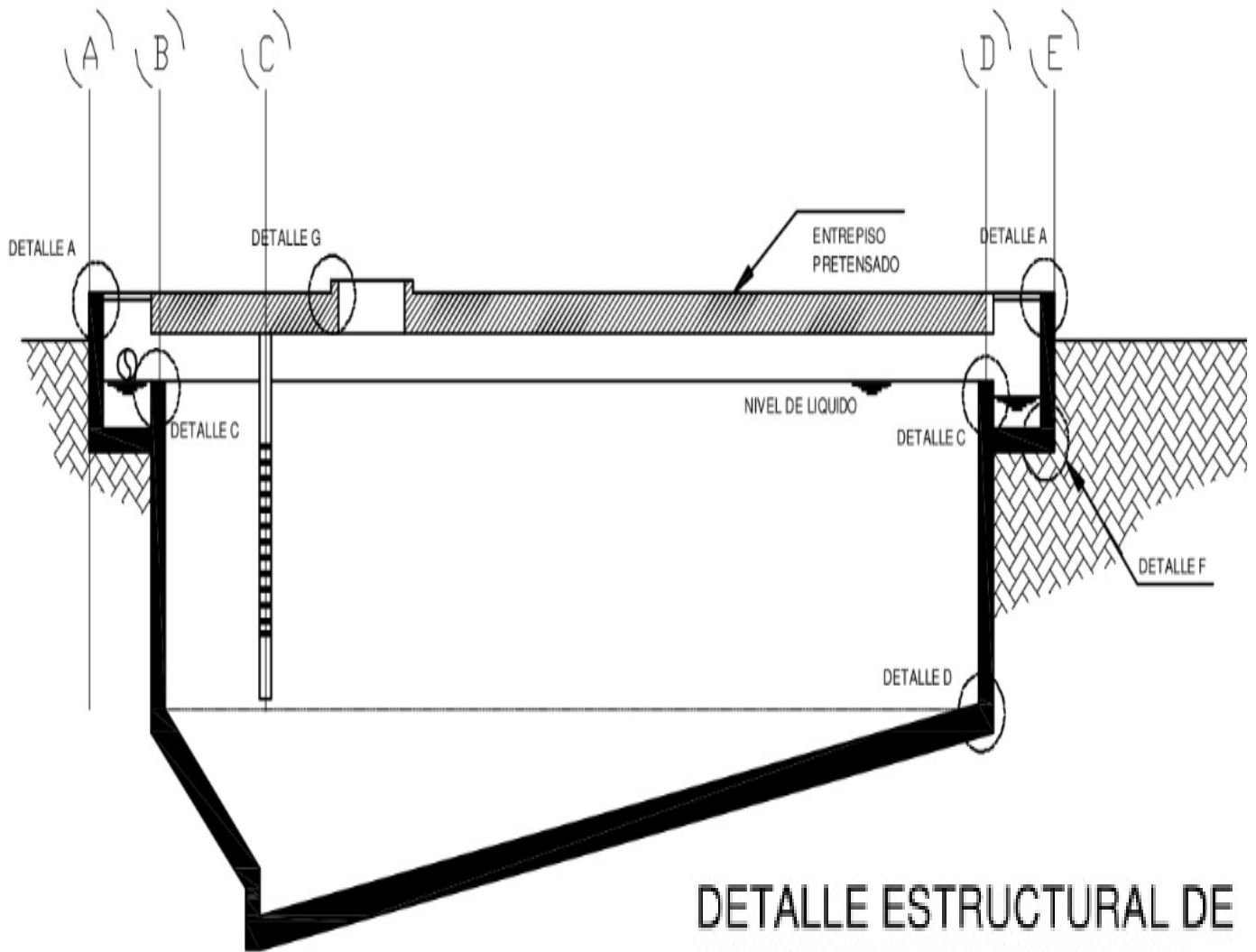
DETALLE G



## DETALLE DE ENTREPISO

ESC 1:10



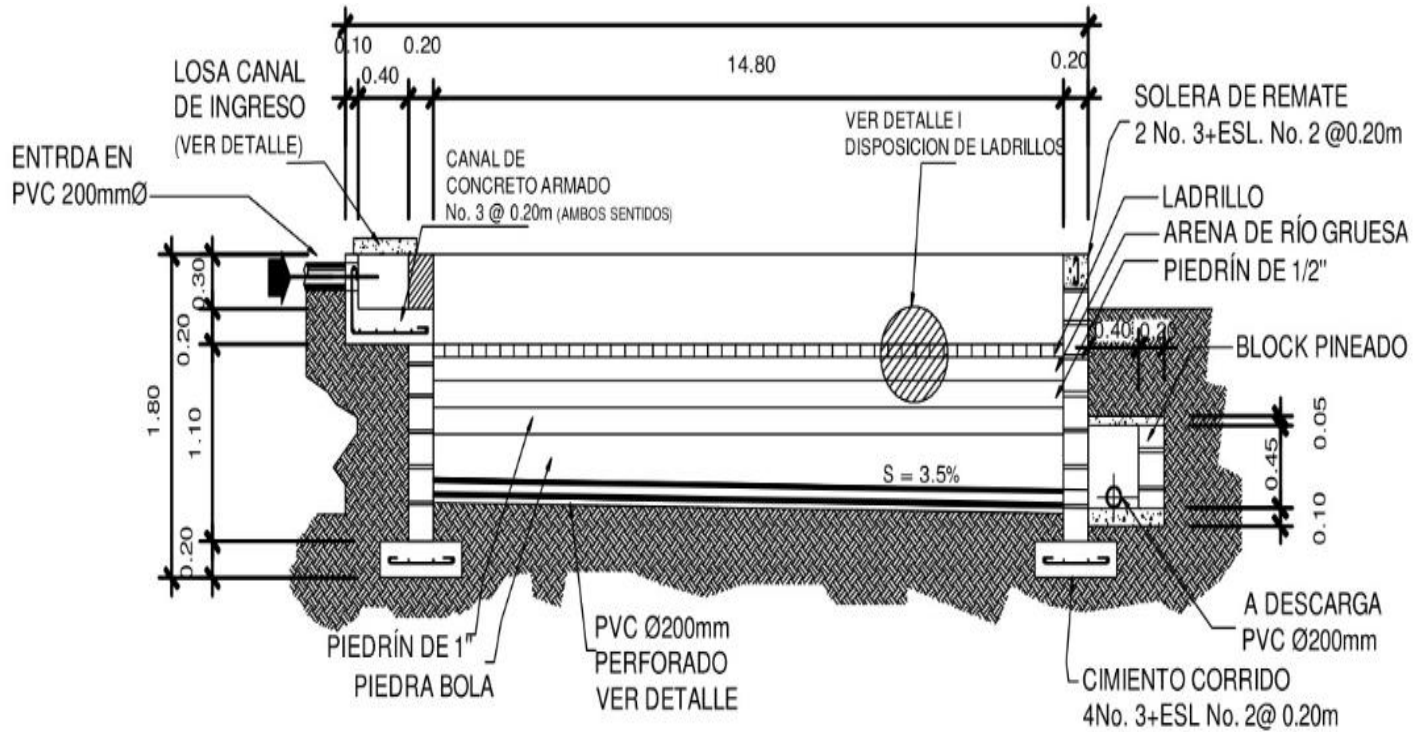


## DETALLE ESTRUCTURAL DE TANQUE SEDIMENTADOR

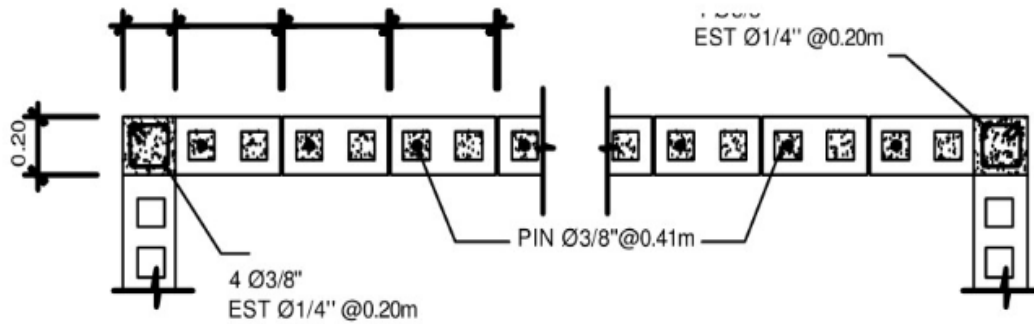
ESC 1:50



**LECHO DE SECADOS**
  
**SIN ESCALA**



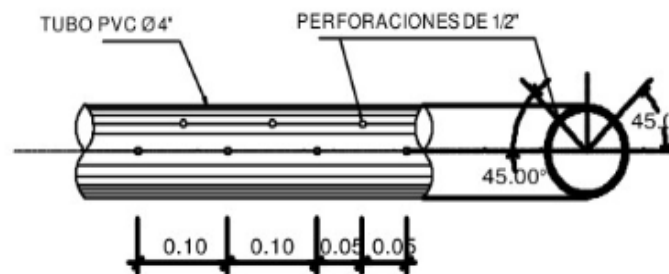
**SECCION TRANSVERSAL A-A**
  
**SIN ESCALA**



## DETALLE DE REFUERZO VERTICAL

---

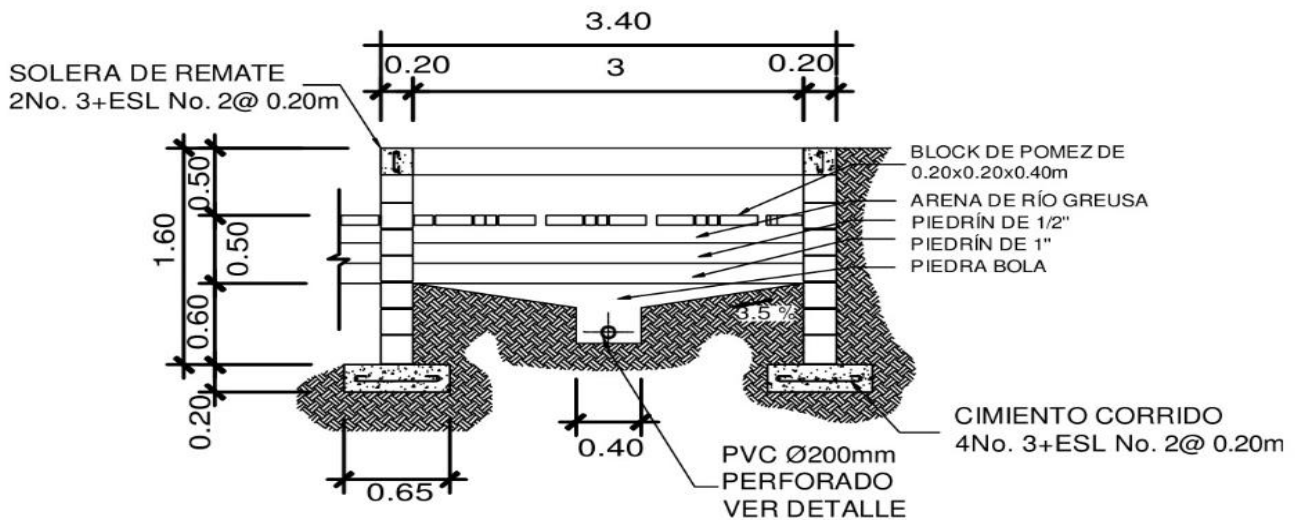
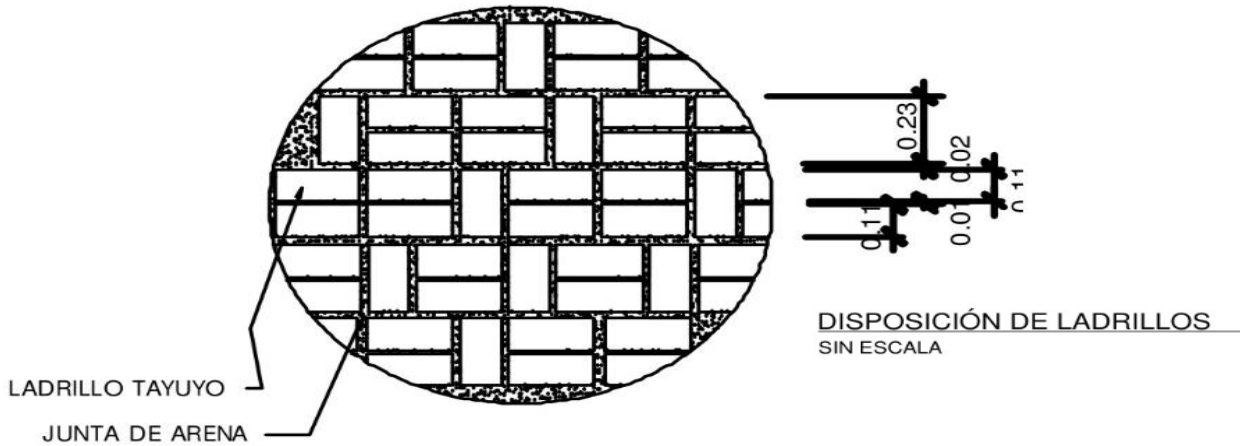
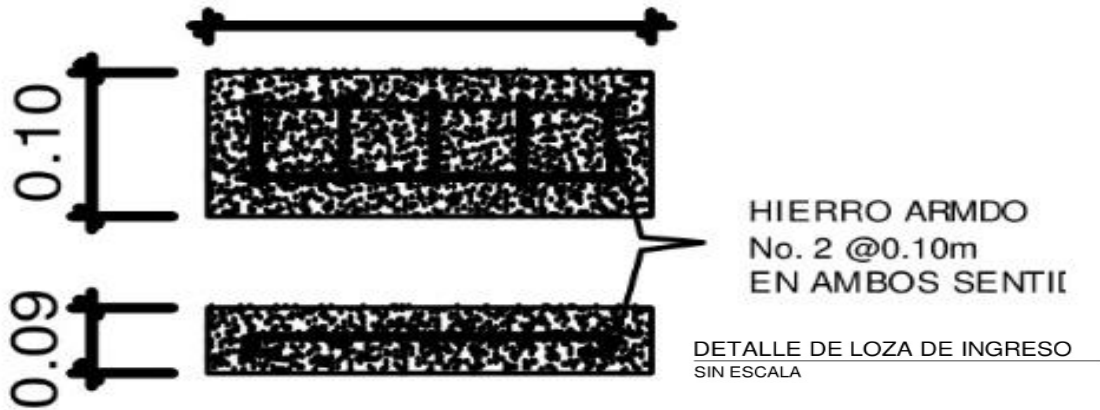
### SIN ESCALA



## DETALLE DE TUBERÍA PERFORADA

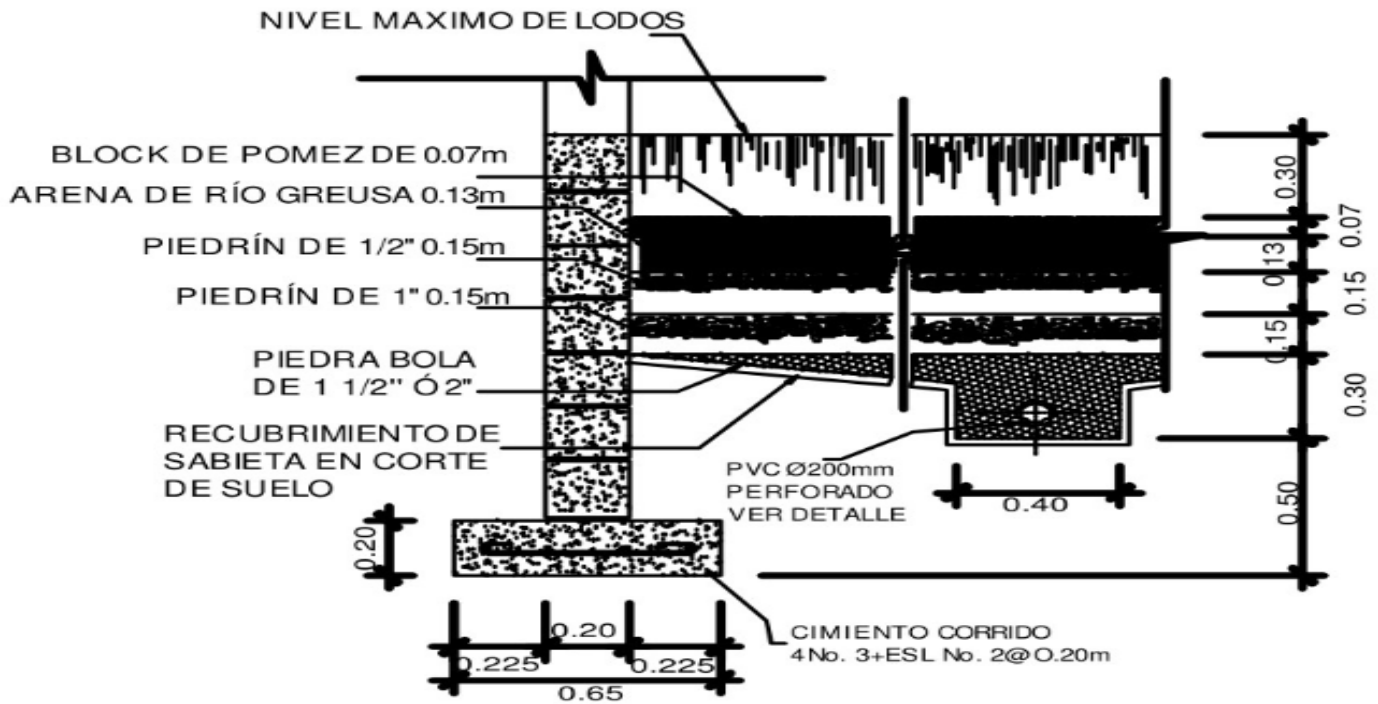
---

### SIN ESCALA

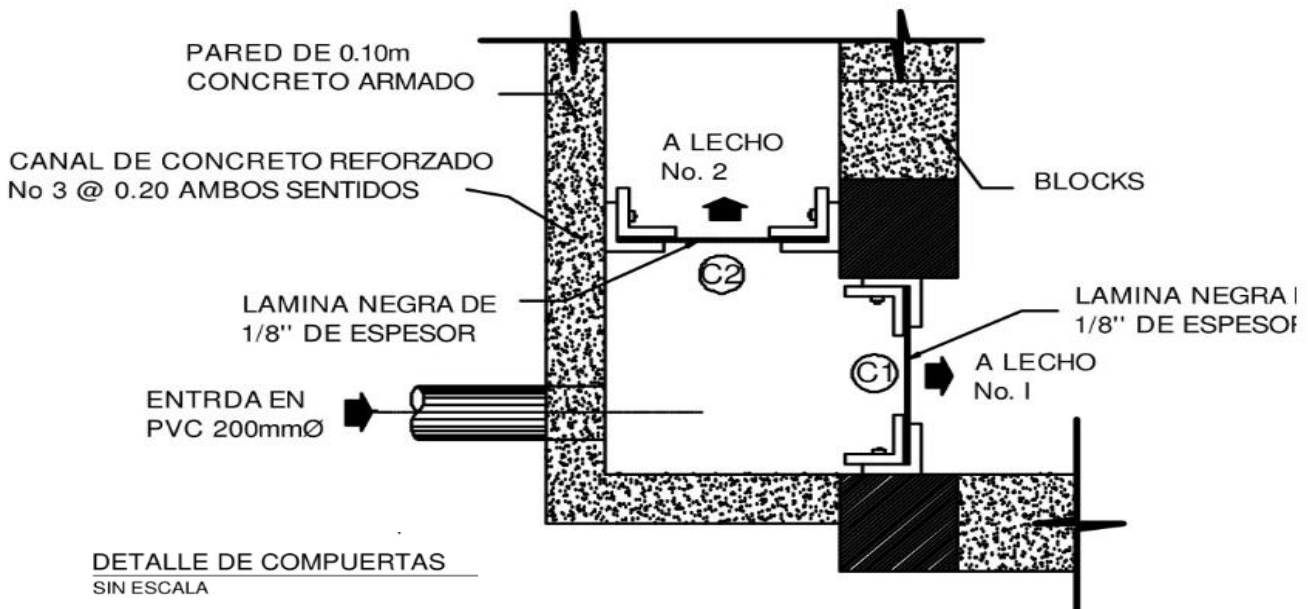


## SECCION TRANSVERSAL B-B

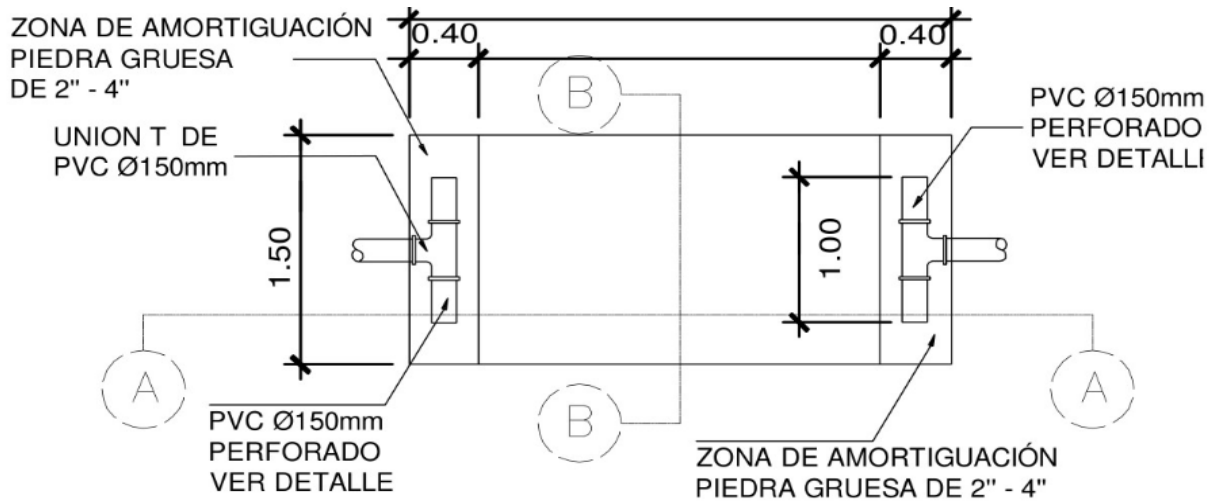
ESC 1:50



DETALLE DE NIVELES DE FILTRACIÓN  
 SIN ESCALA

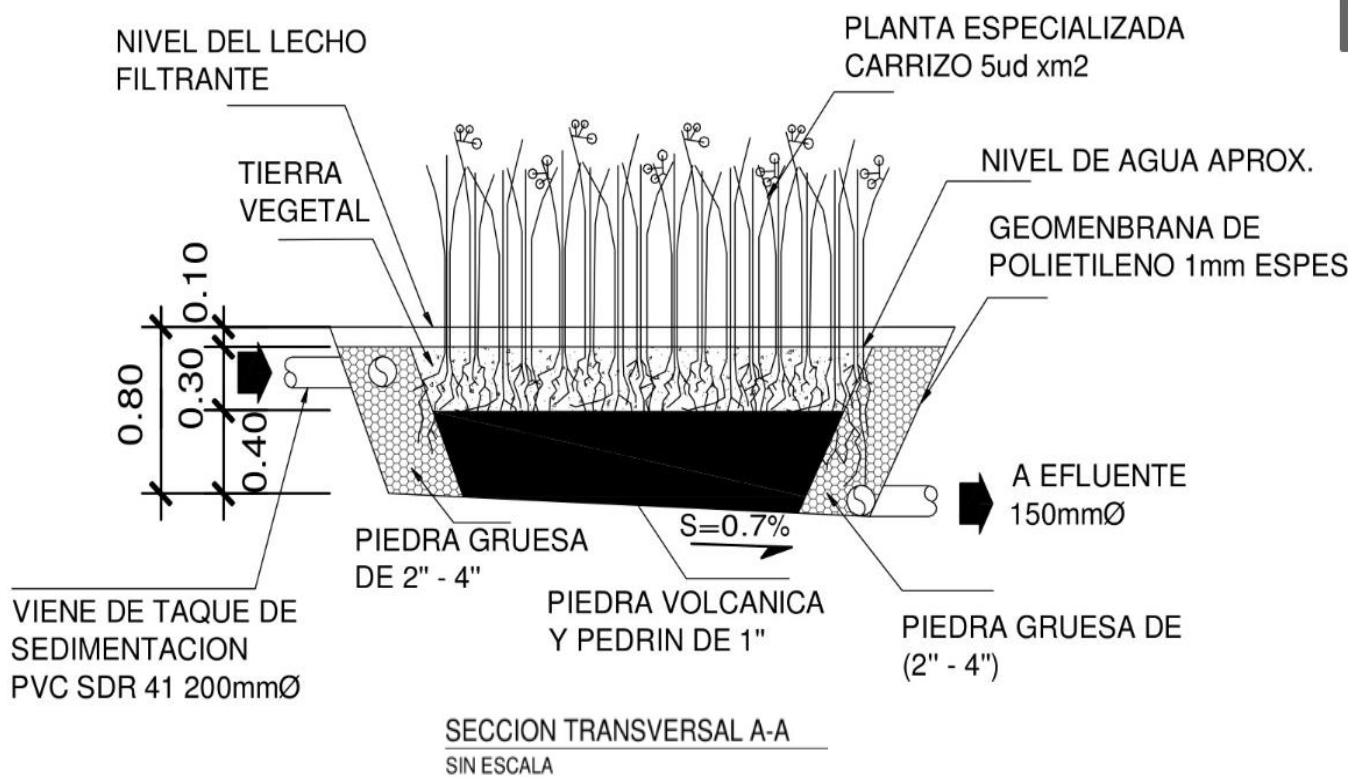


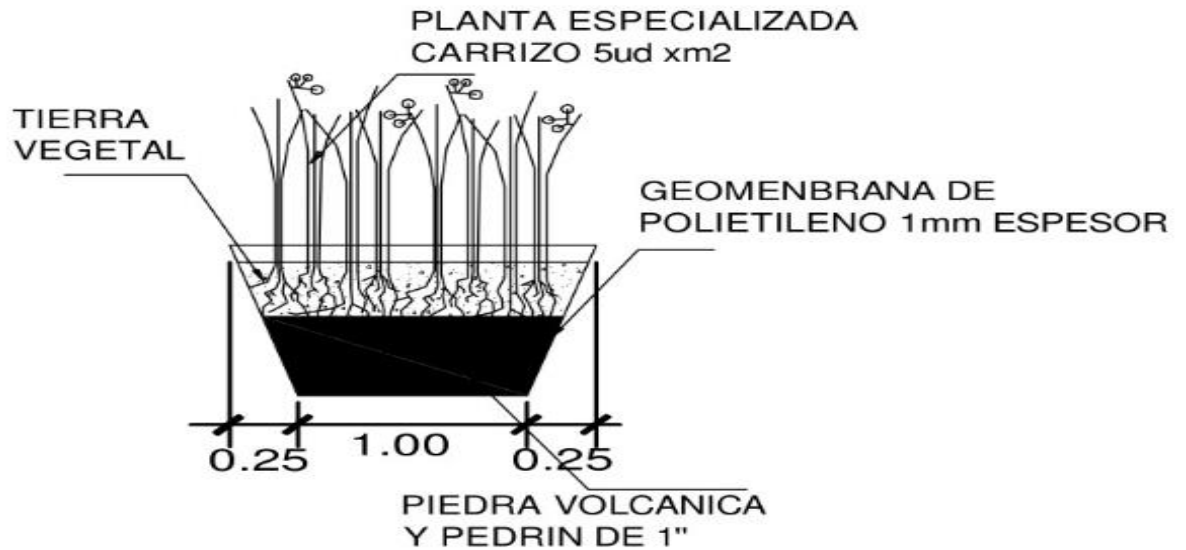
DETALLE DE COMPUERTAS  
 SIN ESCALA



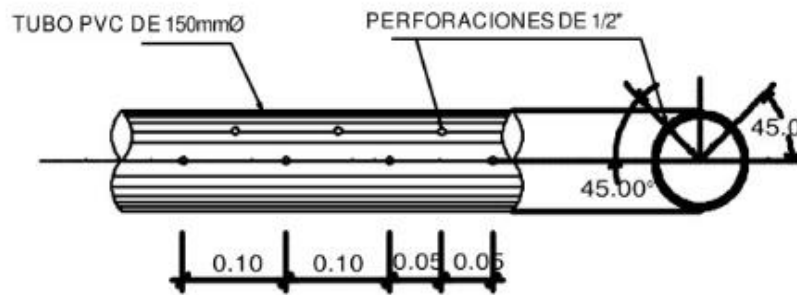
## HUMEDAL ARTIFICIAL

SIN ESCALA





SECCION TRANSVERSAL B-B  
SIN ESCALA



DETALLE DE TUBERÍA PERFORADA  
SIN ESCALA





