

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE  
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZADO PARA LA  
DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN EL MUNICIPIO DE  
ZARAGOZA, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

PRESENTADO POR:

**FREDY RAFAEL ALVARENGA MARTÍNEZ**

**SAMUEL ALEXANDER MEJÍA DELGADO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVESITARIA, JUNIO 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**DIRECTOR :**

**ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción de Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título

:

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE  
LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN, UTILIZADO PARA LA  
DISPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN EL MUNICIPIO DE  
ZARAGOZA, DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD**

Presentado por

:

**FREDY RAFAEL ALVARENGA MARTÍNEZ  
SAMUEL ALEXANDER MEJÍA DELGADO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes asesores

:

**MSc. ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÓN**

**ING. FLAVIO MIGUEL MEZA CARRANZA  
(Asesor Externo)**

San Salvador, junio 2021

Trabajo de Graduación aprobado por:

Docentes asesores :

**MSc. ING. RICARDO ERNESTO HERRERA MIRÓN**

**ING. FLAVIO MIGUEL MEZA CARRANZA**  
**(Asesor Externo)**



## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	xxii
1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	1
ANTECEDENTES .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
OBJETIVOS .....	4
1.1.1 General .....	4
1.1.2 Específicos .....	4
ALCANCES .....	5
LIMITACIONES .....	6
JUSTIFICACIONES .....	7
2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	8
Alcantarillado Sanitario.....	8
2.1.1 Clasificación de los sistemas de alcantarillado sanitario .....	9
2.1.2 Elementos que componen la red del Alcantarillado Sanitario ...	11
Aguas residuales.....	14
2.1.3 Clasificación de las aguas residuales.....	14
Tratamiento del agua residual .....	15
2.1.4 Tratamiento preliminar .....	16

2.1.5	Tratamiento primario .....	20
2.1.6	Tratamiento secundario.....	21
2.1.7	Tratamiento terciario .....	27
3	CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA.....	27
	Generalidades .....	27
3.1.1	Ubicación .....	28
3.1.2	División político-administrativa .....	29
3.1.3	Ríos principales del municipio .....	31
4	CAPÍTULO IV: REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN. ....	32
	Población y caudal de diseño.....	32
4.1.1	Población de diseño .....	32
4.1.2	Proyección de la población .....	36
	Estado actual del sistema de alcantarillado sanitario .....	44
	Lagunas depuradoras .....	44
4.1.3	Parámetros de diseño .....	44
4.1.4	Estado actual de las lagunas .....	45
	Resultado de la revisión de capacidad del alcantarillado sanitario y lagunas de estabilización.....	47

4.1.5	Alcantarillado sanitario .....	47
4.1.6	Lagunas de estabilización .....	48
5	CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO DE RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO .....	50
	Información preliminar del municipio .....	50
	Normativa vigente y parámetros de diseño .....	50
	Diseño de la red .....	50
	Uso del software SEWERCAD v8i .....	53
5.1.1	Interfaz y parámetros iniciales.....	53
5.1.2	Análisis.....	61
5.1.3	Elementos (Componentes).....	66
5.1.4	Herramientas.....	74
5.1.5	Flex Tables.....	81
5.1.6	Presentación de resultados.....	85
5.1.6.1	Tuberías .....	85
5.1.7	Verificación de resultados .....	85
6	CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS .....	89
	Canal de rejillas .....	93

Diseño del desarenador .....	108
Medidor de caudal Sutro .....	114
Trampa de grasa .....	121
Diseño de homogeneizador.....	126
Dimensionamiento del R.A.F.A. ....	144
Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA.....	157
Dimensionamiento de laguna de maduración .....	160
Dimensionamiento de campos de secado.....	163
7   CAPÍTULO VII: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO .....	166
Especificaciones técnicas del alcantarillado sanitario .....	166
7.1.1   Trazo y nivelación .....	166
7.1.2   Excavaciones de zanjas.....	167
7.1.3   Compactación de zanjas .....	169
7.1.4   Albañilería .....	171
7.1.4.1   Pozos de visita.....	171
7.1.4.2   Materiales, morteros, concreto y encofrados .....	173

7.1.5	Suministro e instalación de tubería de PVC .....	179
7.1.5.1	Colocación de tuberías a lo largo de la línea .....	180
7.1.5.2	Comprobación de rasante de instalación.....	181
7.1.5.3	Verificación de daños a la tubería.....	181
7.1.5.4	Acople de tubos .....	182
7.1.6	Ruptura y reposición de pavimento .....	183
7.1.6.1	Pavimento Asfáltico .....	184
7.1.6.2	Pavimento de Concreto Hidráulico .....	185
7.1.6.3	Adoquinados y empedrados .....	186
7.1.7	Prueba de tuberías para alcantarillado sanitario .....	188
7.1.7.1	Prueba hidráulica de infiltración y estanqueidad.....	188
7.1.7.2	Preparación de las pruebas .....	192
7.1.7.3	Suministro de agua para la prueba de tuberías .....	192
7.1.7.4	Conformidad a la prueba .....	193
7.1.7.5	Constancia de aprobación .....	193
	Especificaciones técnicas de planta de tratamiento de aguas residuales	195
7.1.8	Obras preliminares.....	196
7.1.9	Trazo y nivelación .....	197
7.1.10	Excavación y relleno .....	197

7.1.10.1	Excavación.....	197
7.1.10.2	Relleno, nivelación y compactación .....	198
7.1.11	Concreto estructural.....	199
7.1.11.1	Materiales .....	199
7.1.11.2	Dosificación y control de mezcla .....	204
7.1.11.3	Preparación del concreto .....	206
7.1.11.4	Colocación del concreto.....	207
7.1.11.5	Encofrados.....	207
7.1.11.6	Curado .....	208
7.1.11.7	Reparación de defectos del colado.....	208
7.1.12	Albañilería y acabados.....	209
7.1.12.1	Morteros.....	209
7.1.12.2	Acabados de paredes .....	211
7.1.13	Estructuras metálicas.....	212
7.1.14	Instalación de tuberías.....	212
7.1.14.1	Prueba hidráulica de infiltración y estanqueidad.....	213
	Laguna de maduración.....	214
7.1.15	Conformación de taludes. ....	214

Se debe de prestar atención en la conformación de taludes, considerando pendientes no mayores a 1:2 con un grado de compactación del 95%.	214
7.1.16 Impermeabilización .....	214
Presentación de planos de la red de alcantarillado .....	214
7.1.17 Presentación de los elementos de la red de alcantarillado ..	214
Presentación de planos de la planta de tratamiento.....	215
7.1.18 Presentación de los elementos de la red de alcantarillado ..	215
7.1.19 Presentación de los elementos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.....	215
<b>8 CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>215</b>
Conclusiones.....	215
8.1.1 Alcantarillado sanitario .....	215
8.1.2 Planta depuradora de aguas residuales.....	216
Recomendaciones.....	218
8.1.3 Recomendaciones sobre la propuesta de diseño de la red de alcantarillado sanitario .....	218
8.1.4 Recomendaciones sobre la propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	218

9	Bibliografía.....	219
10	ANEXOS .....	224
	Resultado del análisis de la red existente .....	224
	Resultados del diseño utilizando SEWERCAD .....	228
	10.1.1 Tuberías.....	228
	10.1.2 Pozos.....	238



## Índice de ilustraciones

Ilustración 2-1, imagen tomada de la publicación realizada por el Institute for Water Education (UNESCO-IHE) en su programa Water and Sanitation Program (WSP).....	12
Ilustración 2-2, imagen tomada del blog de la empresa peruana BOSSTECH, publicada el 7 de mayo de 2018 .....	13
Ilustración 2-3, imagen tomada de la revista académica DELOS (Desarrollo Local Sostenible, Volumen 1, N°0, octubre 2007) .....	13
Ilustración 2-4, imagen tomada de la revista académica DELOS (Desarrollo Local Sostenible, Volumen 1, N°0, octubre 2007) .....	14
Ilustración 2-5, fuente: (Alfaro Melgar, Carranza Cisneros, & González Reyes, 2012, pág. 243).....	16
Ilustración 2-6, imagen tomada de la empresa «Aeration Argentina», empresa dedicada a la depuración de aguas negras .....	17
Ilustración 2-7, desarenador típico.....	18
Ilustración 2-8, imagen de un desarenador aireado, imagen extraída del XXXII curso sobre tratamiento de aguas residuales, Ministerio de Agricultura, España, 2015.....	18
Ilustración 2-9 Tanque sedimentador fuente: Cooperativa de obras y servicios públicos de santa teresita LTDA. ....	20
Ilustración 2-10, sistema de varios RAFA, imagen tomada de Sperling & Lemos Chernicharo, 2005, pág. 744 .....	22

Ilustración 2-11, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, imagen tomada de Taller “Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, SANAA.....	23
Ilustración 2-12, lagunas para la depuración del agua, imagen tomada de la organización «Alianza por el agua» .....	25
Ilustración 2-13, tanque donde se realiza el proceso de lodos activados, imagen tomada de la organización «Alianza por el agua».....	26
Ilustración 3-1, departamento de La Libertad .....	29
Ilustración 4-1, población del municipio de Zaragoza, (DIGESTYIC, 2014)..	34
Ilustración 4-2 Poblaciones a nivel municipal del departamento de La Libertad de los años 2005 a 2015 (DIGESTIC, 2014) .....	35
Ilustración 4-3 Poblaciones a nivel municipal del departamento de La Libertad de los años 2016 a 2025 (DIGESTIC, 2014) .....	36
Ilustración 4-4, forma típica de la curva de Pearl o Curva logística .....	37
Ilustración 4-5, resultados de los censos de 1992 y 2007 .....	38
Ilustración 4-6, resultado de la curva de Pearl, se define el intervalo de tiempo utilizado entre las líneas verticales de color rojo y verde .....	43
Ilustración 4-7, sección típica de lagunas facultativas, fuente: Raúl Fuentes Beltrán, Sistemas de depuración Natural, 2011 .....	45
Ilustración 4-8, imagen satelital de las lagunas en Zaragoza, imagen de Google Earth .....	46
Ilustración 4-9, imagen de las lagunas, resaltando las zonas no funcionales	46

Ilustración 4-10. Modelado de red existente. ....	47
Ilustración 5-1, distribución de áreas para figuras rectangulares.....	51
Ilustración 5-2, distribución de áreas para figuras cuadradas.....	52
Ilustración 5-3, distribución de áreas para figuras diferentes.....	52
Ilustración 5-4, ventana inicial del software .....	53
Ilustración 5-5, introducción de las lecciones rápidas de inicio.....	54
Ilustración 5-6, lección sobre cómo crear el esquema de una red.....	54
Ilustración 5-7, menú para ingresar las propiedades al proyecto.....	56
Ilustración 5-8, información básica del proyecto .....	57
Ilustración 5-9, creación de un nuevo proyecto .....	57
Ilustración 5-10, configuración de unidades de medida.....	58
Ilustración 5-11, definición del sistema de unidades para el proyecto .....	59
Ilustración 5-12, configuración de unidades del proyecto .....	60
Ilustración 5-13, creación de una nueva alternativa.....	61
Ilustración 5-14, creación de una nueva alternativa.....	62
Ilustración 5-15, creación de nueva alternativa.....	62
Ilustración 5-16, creación de un nuevo escenario.....	63
Ilustración 5-17, creación de un nuevo escenario (características) .....	63
Ilustración 5-18, nueva opción de cálculo .....	65
Ilustración 5-19, velocidad y tirante de diseño .....	67
Ilustración 5-20, profundidad máxima y mínima permitida para el diseño ....	68
Ilustración 5-21, pendientes permitidas para el diseño .....	68

Ilustración 5-22, catálogo de conductos.....	69
Ilustración 5-23, tipos de conductos y sus diámetros según librería .....	70
Ilustración 5-24, factores de flujo en los pozos de la red .....	71
Ilustración 5-25, cargas unitarias en temporada seca.....	72
Ilustración 5-26, configuración de los flujos extremos.....	73
Ilustración 5-27, opción en el método de cálculo .....	74
Ilustración 5-28, uso del Centro de Control de Cargas Sanitarias .....	75
Ilustración 5-29, Inicializar cargas unitarias para todos los elementos .....	75
Ilustración 5-30, imagen de fondo como guía para modelar la red .....	76
Ilustración 5-31, espacio de trabajo para el diseño de la red.....	77
Ilustración 5-32, creación de etiquetas para pozos y tuberías .....	77
Ilustración 5-33, dibujo de la red en SewerCad V8i SS3 .....	78
Ilustración 5-34, menú para colocar información del terreno a la propuesta de diseño .....	79
Ilustración 5-35, parámetros para el ingreso de las curvas de nivel .....	79
Ilustración 5-36, introducción de la información del terreno.....	80
Ilustración 5-37, localización de la herramienta «Flex Table» .....	81
Ilustración 5-38, elección de los elementos que mostrará la tabla.....	81
Ilustración 5-39, ejemplo de tabla (Flex Table) .....	82
Ilustración 5-40, validación de los datos ingresados al proyecto y cálculo ...	84
Ilustración 5-41, detalle del diseño de la red.....	84
Ilustración 5-42, resultado para el tramo 1 utilizando HCANALES .....	86

Ilustración 5-43, cálculo de la velocidad para el tramo 22 utilizando HCANALES .....	87
Ilustración 5-44, resultado para la velocidad del tramo 365 utilizando HCANALES.....	88
Ilustración 6-1, factores de consumo para diseño de proyectos de agua potable, tomado de la NORMAS TÉCNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS, 2014, pág. 30.....	89
Ilustración 6-2, coeficiente de pérdida de carga según la sección de las barras de la rejilla.....	95
Ilustración 6-3, dimensiones del canal de rejas .....	96
Ilustración 6-4, isométrico del canal de rejas .....	97
Ilustración 6-5, pérdida de carga con relación al porcentaje de suciedad retenida en la rejilla, siendo 15cm el valor máximo permitido.....	99
Ilustración 6-6, espesor de rejas .....	102
Ilustración 6-7, tirantes y pérdida de carga en el canal de rejas .....	102
Ilustración 6-8, vista de las barras, ancho y espesor .....	104
Ilustración 6-9, longitudes de las barras del canal de rejas .....	105
Ilustración 6-10, trigonometría y cálculo de tirante (Ti) .....	106
Ilustración 6-11, sección típica de un vertedero proporcional (Sutro), imagen tomada de (Skertchly Molina, 1988) .....	116
Ilustración 6-12, diseño de la curvatura del vertedero Sutro.....	117

Ilustración 6-13, simetría del vertedero.....	118
Ilustración 6-14, gráfico de la curva de vertedero de Sutro.....	118
Ilustración 6-15, Esquema del tanque recolector. (Ayala Durán & Díaz Castillo, 2008).....	124
Ilustración 6-16, distribución de caudal diario .....	127
Ilustración 6-17, volumen acumulado en el afluente .....	134
Ilustración 6-18, volumen acumulado en el afluente y volumen medio diario .....	135
Ilustración 6-19, tangentes máxima y mínima para el gráfico de volumen..	136
Ilustración 6-20, tipos de curva de volumen diario para diseño de homogeneizadores, (METCALF & EDDY, INC., 1995, pág. 336) .....	137
Ilustración 6-21, segundo tipo de gráfico según factores de distribución de caudal .....	138
Ilustración 6-22, tipos de mezcladores, (METCALF & EDDY, INC., 1995, pág. 353).....	141
Ilustración 6-23,turbina de hélice perpendicular comercial. ....	142
Ilustración 6-24, cualidades de los mezcladores, (METCALF & EDDY, INC., 1995).....	142
Ilustración 6-25, tiempos de retención para RAFA, (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005) .....	145
Ilustración 6-26, zona de sedimentación.....	153
Ilustración 6-27, separador trifásico de RAFA.....	155

Ilustración 6-28, Criterios de dimensionamiento de un FAFA, (Comisión Nacional del Agua, 2018).....	159
Ilustración 6-29, recorrido y sentido del flujo del agua en la laguna de maduración .....	162

### **Índice de Tablas**

Tabla 3-1. División administrativa del municipio de Zaragoza, zona urbana	30
Tabla 4-1, población en los municipios del departamento de La Libertad, según CENSOS NACIONALES V DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1992, tomo V, La Libertad.....	33
Tabla 4-2, proyección de población mediante el modelo aritmético.....	40
Tabla 4-3, proyección poblacional utilizando la curva logística hasta 2039 ..	43
Tabla 5-1, resultados para el tramo 1 de tubería .....	85
Tabla 5-2, comprobación para el tramo 22 de tubería .....	86
Tabla 5-3, resultados para el tramo 365 de la red .....	87
Tabla 6-1, cálculo de caudales y factores de conexiones erradas e infiltración .....	91
Tabla 6-2, caudales de diseño para temporada lluviosa y temporada seca .	92
Tabla 6-3, parámetros de diseño para canal de rejas, (Gómez Domínguez, Palacios Díaz, & Sánchez Pérez, 2009, pág. 218) .....	94
Tabla 6-4 valores utilizados según parámetros de diseño .....	94

Tabla 6-5, resultados para el dimensionamiento del canal de rejillas, utilizando el caudal medio.....	106
Tabla 6-6, resultados del dimensionamiento para caudal mínimo. ....	107
Tabla 6-7, pérdida de carga para rejillas limpias.....	108
Tabla 6-8, pérdida de carga cuando las rejillas están sucias a un 60% .....	108
Tabla 6-9, número de barras en el canal .....	108
Tabla 6-10, parámetros de diseño para desarenadores, (Gómez Domínguez, Palacios Díaz, & Sánchez Pérez, 2009, pág. 222) .....	109
Tabla 6-11, cálculo de profundidad media. ....	113
Tabla 6-12, resumen de dimensiones de desarenador.....	114
Tabla 6-13, resumen de remoción de arenas. ....	114
Tabla 6-14, caudal calculado con base a la altura medida en el vertedero	119
Tabla 6-15, diseño y simetría del vertedero proporcional (Sutro) .....	120
Tabla 6-16, caudal medido en base a la altura registrada en el medidor Sutro .....	121
Tabla 6-17, cálculos para el dimensionamiento del homogeneizador.....	128
Tabla 6-18, encontrando el volumen almacenado para cada intervalo.....	132
Tabla 6-19, cálculo del volumen almacenado para cada intervalo.....	133
Tabla 6-20, cálculo del volumen .....	139
Tabla 6-21, dimensión para homogeneizadores .....	141
Tabla 6-22, parámetros de diseño para mezclador, (METCALF & EDDY, INC., 1995).....	144



Tabla 6-23, Criterios de diseño para filtros anaerobios aplicables para el post tratamiento de efluentes de reactores anaerobios, (Comisión Nacional del Agua, 2018) .....	157
Tabla 7-1 Ancho de zanja a excavar según diámetro de tubería .....	168
Tabla 7-2, Granulometría de arena .....	186
Tabla 7-3, Granulometría de arena y tierra junta .....	187
Tabla 7-4, Perdida admisible por cada 100 m .....	191
Tabla 7-5, Tiempo Mínimo Requerido para una disminución de 1psig para una longitud y diámetro dados (minutos) .....	195
Tabla 7-6, Dosificación de morteros .....	210
Tabla 7-7, Ancho de excavación a partir de diámetros de tuberías .....	213
Tabla 10-1, Resultado de análisis de tuberías .....	224
Tabla 10-2, Resultado de análisis de pozos de visita .....	226
Tabla 10-3, resultado del diseño para las tuberías .....	228
Tabla 10-4, tabla de resultado para los pozos .....	238

## **INTRODUCCIÓN**

La presente investigación surge con el propósito de conocer y comparar las condiciones de diseño iniciales del sistema de alcantarillado sanitario y lagunas de estabilización (actual sistema de recolección, conducción y depuración de aguas residuales) del casco urbano del municipio de Zaragoza, en el departamento de La Libertad, y evaluar la función del sistema frente a las condiciones actuales.

Una vez identificado el problema, se ha realizado una investigación bibliográfica complementada con visitas de campo, con el objeto de aplicar los conocimientos adquiridos para proponer una solución a la problemática: la depuración de las aguas residuales del casco urbano de la ciudad y municipio de Zaragoza.

El desarrollo de los contenidos presenta información teórica y técnica que dan origen a una propuesta de mejoramiento del sistema de recolección, conducción y depuración de las aguas residuales domésticas.

La propuesta consta de una nueva red de alcantarillado sanitario convencional y un sistema compuesto por tratamiento preliminar (canal de rejillas, desarenador y trampa de grasas) seguido de un tanque homogeneizador, un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) seguido de un Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA), finalizando con una laguna de maduración.

## **1 CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

### **ANTECEDENTES**

El Salvador es un país en constante crecimiento, muchas áreas que antes eran cafetales y bosques ahora se han vuelto residenciales, el crecimiento del área urbana genera una mayor descarga de aguas residuales, mucha de esta agua se ha vertido directamente en los cuerpos receptores, ignorando por completo las normas que con el tiempo se fueron estableciendo en el país en lo que respecta a las aguas residuales.

*El municipio de Zaragoza se encuentra en la carretera que conduce hacia el Puerto de La Libertad aproximadamente a unos once kilómetros de Santa Tecla. Según las estimaciones y proyecciones de población Municipal 2005 – 2015 de la Dirección General de Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC) de El Salvador para el año 2019 en el municipio de Zaragoza se proyecta una población de 35 656 habitantes. (DIGESTYIC, 2014)*

En el municipio de Zaragoza existe una red de alcantarillado sanitario y una planta de tratamiento de aguas residuales que consta de dos lagunas en serie, la primera de estabilización y la segunda de maduración, las lagunas ya han cumplido su vida útil para la cual fueron diseñadas. Las lagunas actualmente pertenecen y son administradas por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). Debido a que no se cuenta con un tratamiento

preliminar, el agua residual se vierte directamente a la primera laguna (de estabilización), esto ha generado que ambas lagunas estén azolvadas, lo que disminuye la eficiencia en el tratamiento. Por otra parte, el crecimiento poblacional en el municipio también es otro factor a tomar en cuenta, debido al aumento del caudal y la cantidad de sólidos arrastrados a través de los colectores del sistema de alcantarillado.

El decreto ejecutivo presentado en el año 2000 (decreto 39) sirve como una normativa para el tratamiento de aguas residuales, marcando un cambio a partir de este año en cuanto al manejo y disposición de las aguas servidas. (Decreto N° 39, 2000)

Según el boletín informativo de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), para el año 2016 se ha tenido una cobertura del 96.2% en el servicio de agua potable y un 48.80% en el servicio de alcantarillado sanitario, lo que representa un total de 5,987 servicios de agua potable y 3,040 servicios de alcantarillado, atendiendo a un total de 26 147 habitantes. (A.N.D.A., Boletín Estadístico N°38, 2016, pág. 29)

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El estado actual de las lagunas no permite el correcto tratamiento de las aguas residuales provenientes del casco urbano de la ciudad y municipio de Zaragoza.

En las visitas realizadas al lugar, se ha podido identificar un alto grado de contaminación al cuerpo receptor debido a que las lagunas han dejado de depurar el agua correctamente. Se pudo apreciar también que no existe un tratamiento preliminar para retirar los sólidos de mayor tamaño, por lo que estos ingresan directamente a las lagunas, deteriorándolas y produciendo azolvamiento, disminuyendo el funcionamiento de estas.

El mal funcionamiento del sistema de depuración mediante lagunas en serie está produciendo un problema ambiental en el municipio de Zaragoza, pues el agua contaminada es vertida sobre un cuerpo de agua superficial que transporta la contaminación aguas abajo, este proceso también contamina el agua subterránea durante el proceso de infiltración.

Para el año de 1992 el municipio de Zaragoza tenía una población de 14 434 habitantes según el V Censo Nacional de población y IV de vivienda (Ministerio de Economía, 1992), el diseño del sistema de alcantarillado se realizó tomando como base dicha población y luego proyectándola a 20 años.

En la actualidad la población del municipio ha aumentado, es por esta razón que es necesario hacer una revisión de la capacidad actual del sistema de alcantarillado y del sistema de lagunas, según la DIGESTYC en sus proyecciones estadísticas, la población del municipio de Zaragoza crecerá a un aproximado de 35 947 habitantes para el año 2019. (El Salvador: Estimaciones y Proyecciones de Población Municipal 2005 - 2025, 2014, pág. 61), ¿Es posible presentar una propuesta de mejoramiento al sistema actual para poder dar tratamiento a las aguas residuales de la población proyectada a 20 años?

## **OBJETIVOS**

### 1.1.1 General

Revisar la capacidad actual de la red de alcantarillado sanitario y proponer el mejoramiento del sistema de lagunas de estabilización, para la disposición del agua residual en el municipio de Zaragoza, departamento de La Libertad.

### 1.1.2 Específicos

- Evaluar la capacidad y eficiencia actual del sistema de lagunas de estabilización, con base a la información que posee actualmente la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (caudales, dimensiones, análisis de laboratorio, etc.).

- Proponer un nuevo diseño para el tratamiento de aguas residuales, que incluya un sistema de depuración que permita aumentar la eficiencia del actual sistema.
- Presentar planos tipo de los elementos incluidos en la propuesta de mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales.
- Proponer alternativas para la reducción de la contaminación de los cuerpos receptores en el efluente de la planta de tratamiento actual.
- Realizar el diseño de la red de alcantarillado sanitario aplicando las normas técnicas de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (A.N.D.A) y haciendo uso de los Softwares utilizados por dicha institución, como una propuesta para ampliar la cobertura y revisar la capacidad de la red existente.

## **ALCANCES**

La propuesta de mejoramiento en el manejo de las aguas residuales de la ciudad y municipio de Zaragoza; contempla el estudio, diagnóstico y planteamiento de soluciones para las deficiencias que presenta el actual sistema de saneamiento.

Dentro de la propuesta, se plantea hacer la investigación con la información que la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) pueda

proporcionar en su función actual como el ente que administra el funcionamiento de las lagunas y el sistema de alcantarillado sanitario.

- Se elaborará un diseño de red de alcantarillado sanitario y su respectiva planta de tratamiento para el casco urbano del municipio de Zaragoza.
- La propuesta de red de alcantarillado sanitario será técnicamente factible para cubrir la demanda según la proyección de población.

#### **LIMITACIONES**

- El desarrollo de la investigación se realizará únicamente en el sistema de lagunas y el sistema de alcantarillado sanitario, que se ubican al Sur Poniente de la ciudad y municipio de Zaragoza
- Para realizar la propuesta de diseño del sistema de tratamiento, se tomará en cuenta solamente las aguas residuales de origen doméstico.
- No se realizará estudio de impacto ambiental.
- No se realizará ningún tipo de estudio hidrológico.
- No se realizará presupuesto del diseño propuesto.



## **JUSTIFICACIONES**

Para un municipio es importante contar con un sistema de saneamiento eficiente, pues esto beneficia al bienestar de la población, el desarrollo y la modernización del municipio.

La propuesta de mejoramiento del sistema de lagunas pretende reducir la contaminación generada en el cuerpo receptor, y, por consiguiente, mejorar las condiciones del recurso, aguas debajo de la descarga. Esto ayudaría a disminuir la morbilidad en la población que depende de las aguas superficiales que actualmente están siendo contaminadas debido al mal funcionamiento del sistema.

Por lo que se considera necesario y de suma importancia, desarrollar el presente trabajo de graduación para generar herramientas técnicas que sean de utilidad para la población del municipio de Zaragoza y para la Administración de Acueductos y Alcantarillados (A.N.D.A.), que, al gestionar recursos económicos, pueden ejecutar la propuesta contenida en el presente documento.

## 2 CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### Alcantarillado Sanitario

Para definir un alcantarillado sanitario será necesario citar algunas definiciones de otros autores:

*Se denomina alcantarillado o red de alcantarillado, al sistema de tuberías y estructuras complementarias necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población.*

*La misión de la red de alcantarillado es recoger las aguas residuales de las zonas habitadas y transportarlas hasta un punto definido para evacuación. Sin embargo, actualmente se ha tomado conciencia del peligro que significa, para la salud pública y al medio ambiente, el descargar aguas residuales a un curso de agua, por lo que éstas deben someterse a un adecuado tratamiento.*

(Chinchilla Menjivar & Rodríguez Ayala, 2010, págs. 16 - 41)

*El sistema de alcantarillado consiste en una serie de redes de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir, conducir y evacuar las aguas residuales y los escurrimientos superficiales producidos por las lluvias. (León Blanco, Salinas Rodríguez, & Zepeda Lima, 2017, pág. 42)*

*«Conjunto o sistemas de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas residuales o servidas, por ejemplo: tuberías, pozos de visita, plantas de tratamiento, etc.» (A.N.D.A., Norma de Factibilidades de Acueductos y Alcantarillados, 2017, pág. 4)*

De lo anterior se utilizará la definición presentada por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), que lo presenta como un sistema compuesto por obras, instalaciones y servicios, cuya finalidad es evacuar y disponer el agua residual o agua servida desde el punto de recolección inicial hasta el lugar de su disposición final.

#### 2.1.1 Clasificación de los sistemas de alcantarillado sanitario

En el presente trabajo se utilizará la clasificación descrita por el Ingeniero Revelo en su trabajo de investigación (Revelo Vidaure, 2016, págs. 18-20) donde describe 3 sistemas:

- 1 **Sistemas convencionales**: son aquellos sistemas que funcionan por gravedad. Donde, se transporta el agua de las viviendas hasta el colector principal, utilizando diferentes elementos y accesorios para realizar dicha función, se les llama convencionales debido a que se han utilizado durante muchos años, incluso en la actualidad.
  - Alcantarillado separado: caracterizado por el transporte por separado de las aguas pluviales y las aguas residuales (domésticas y/o industriales), separando de esta manera las dos redes.

- Alcantarillado combinado: caracterizado por la conducción y disposición de las aguas residuales y las aguas pluviales en una misma red.

2 **Sistemas no convencionales**: se refiere a los sistemas que utilizan las nuevas tecnologías y estudios, para mejorar los sistemas convencionales; buscando mejoras en la eficiencia, economía, o para resolver problemas relacionados con las pendientes.

- Alcantarillado condominial: que tiene su principio basado en los condominios (apartamentos) de los edificios (redes verticales), donde cada nivel se va conectando al inferior, hasta llegar al colector de la red principal que se ubica en el exterior del edificio, pero, se ha adaptado para que tenga el mismo principio en una conexión horizontal, conectando varias viviendas unas con otras en una manzana, hasta conectarse finalmente a la red principal del colector.

Este sistema fue presentado para reducir los costos y debido a su éxito, varios países han adoptado este método en la actualidad.

*«... es una tecnología apropiada y de bajo costo desarrollada en Brasil en la década de 1980, que se propone como una manera de lograr que los*

*servicios de saneamiento a través de redes de alcantarillado estén al alcance de las zonas de expansión de las ciudades...» (Instituto Crecimiento, Lima, Perú, 2007, págs. 1-5)*

- *Alcantarillado sin arrastre de sólidos:* «*se les conoce como alcantarillados presurizados, se caracterizan por eliminar los sólidos de las aguas residuales domésticas por medio de un tanque interceptor. Por lo general el agua es transportada luego a una planta de tratamiento o sistema de alcantarillado convencional a través de tuberías que trabajan a presión en algunos tramos» (Revelo Vidaure, 2016)*

### 2.1.2 Elementos que componen la red del Alcantarillado Sanitario

En esta sección se definirá únicamente los sistemas de alcantarillado tipo condominial y convencional ya que son los mayormente utilizados en el país.

#### a) Sistema de alcantarillado Condominial

Como se puede notar en la Ilustración 2-1, el sistema se compone por una conexión domiciliar, que, según la norma de ANDA, el diámetro mínimo será de 75 milímetros (3 pulgadas), la caja condominial que pueden ser elementos prefabricados, como cajas de concreto, tubos de asbesto-cemento; el ramal condominial deberá tener un diámetro mínimo de 100

milímetros (4 pulgadas), mientras que el pozo de visita deberá ajustarse al diseño tipo convencional.

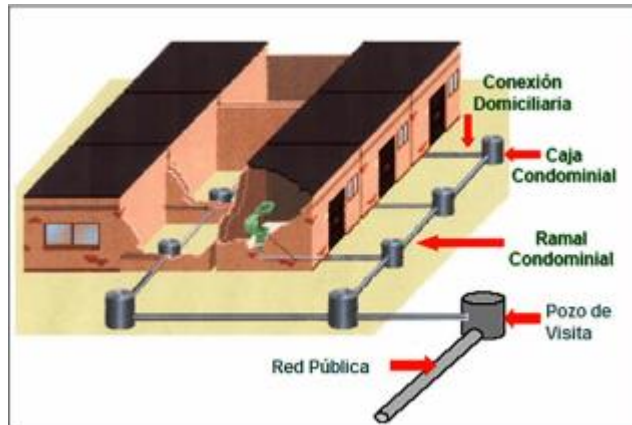


Ilustración 2-1, imagen tomada de la publicación realizada por el Institute for Water Education (UNESCO-IHE) en su programa Water and Sanitation Program (WSP)<sup>1</sup>

#### b) Sistema tipo convencional

Es un sistema que ha sido utilizado en el país de hace mucho tiempo, se compone principalmente de conexiones domiciliarias, tuberías o ductos, cajas y pozos de registro.

Como se puede ver en la Ilustración 2-2, los aparatos hidráulicos descargan el agua residual a una tubería, que luego es transportada hasta la red del alcantarillado sanitario convencional.

<sup>1</sup> Imagen tomada del sitio web  
[http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1215104787836/GDLN\\_LAC\\_Session2\\_Innovative\\_Technologies.pdf](http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1215104787836/GDLN_LAC_Session2_Innovative_Technologies.pdf)

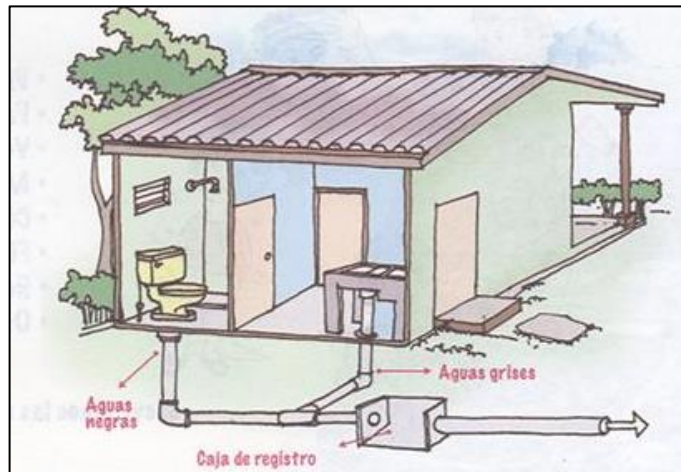


Ilustración 2-2, imagen tomada del blog de la empresa peruana BOSSTECH, publicada el 7 de mayo de 2018<sup>2</sup>

En la Ilustración 2-3 e Ilustración 2-4 se muestra la configuración tipo de los sistemas de alcantarillado convencional y condominial respectivamente.<sup>3</sup>

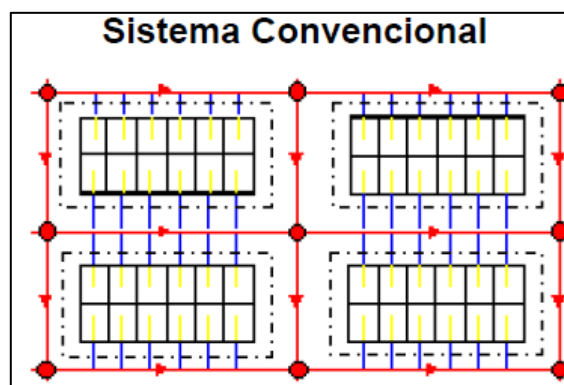


Ilustración 2-3, imagen tomada de la revista académica DELOS (Desarrollo Local Sostenible, Volumen 1, N°0, octubre 2007)

<sup>2</sup> Imagen tomada del sitio web <https://bosstech.pe/blog/diferencia-y-tratamiento-de-aguas-grises-y-negras/>

<sup>3</sup> Se centrará la atención en el alcantarillado sanitario tipo convencional y condominial únicamente, con la intención de marcar la diferencia entre ambos sistemas

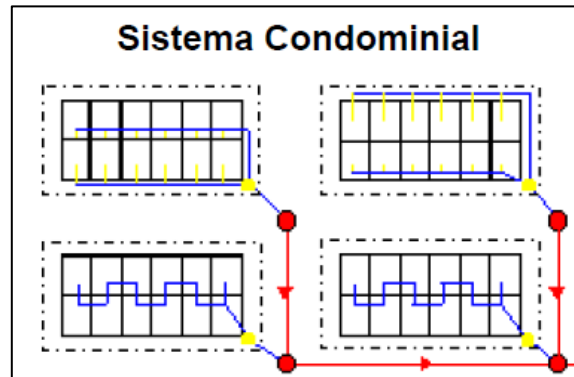


Ilustración 2-4, imagen tomada de la revista académica DELOS (Desarrollo Local Sostenible, Volumen 1, N°0, octubre 2007)

## Aguas residuales

Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes pueden ser de dos tipos: Ordinario y Especial. (Flores Pérez , 2000)

### 2.1.3 Clasificación de las aguas residuales

Aguas residuales de tipo ordinario o domésticas:

*«Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.»* (Flores Pérez , 2000)

*«Es la combinación de los líquidos y residuos, arrastrados por el agua procedentes de casas, edificios comerciales, fábricas e instalaciones, resultante del uso humano del agua.»* (Castillo Claramount, 1987)



## Agua residual de tipo especial

*«Agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquéllas que no se consideran de tipo ordinario.» (Flores Pérez , 2000)*

- Aguas residuales agrícolas,  
son aqueas aguas residuales que provienen, como su nombre lo indica, de las prácticas agrícolas, la ganadería, etc. Este tipo de agua residual suele contener desechos sólidos de animales, y restos de los químicos utilizados para el cuidado de las plantas (pesticidas, etc.)
- Aguas residuales industriales,  
*«Son aquellos desechos líquidos resultantes de cualquier proceso industrial pudiendo contener, residuos orgánicos, minerales, y tóxicos.»*  
(Castillo Claramount, 1987)

## **Tratamiento del agua residual**

El tratamiento de aguas residuales es el conjunto de procesos de tipo físico, biológico y químico, cuya finalidad es depurar la carga orgánica del agua antes de ser dispuesta en un cuerpo receptor. En la Ilustración 2-5 se presenta un proceso de tratamiento básico o compacto, para la depuración de aguas residuales.

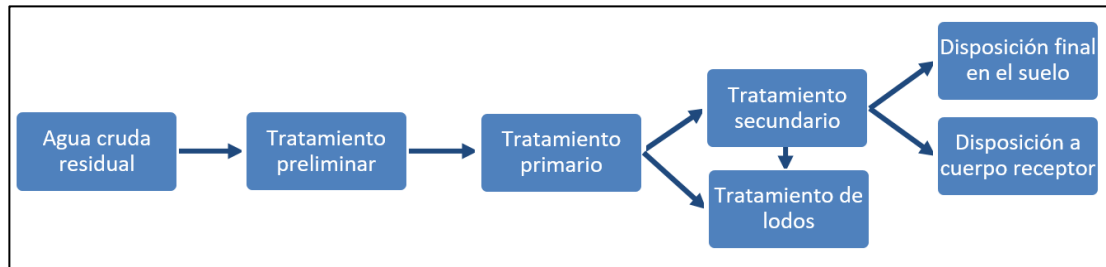


Ilustración 2-5, fuente: (Alfaro Melgar, Carranza Cisneros, & González Reyes, 2012, pág. 243)

#### 2.1.4 Tratamiento preliminar

Se le llama preliminar, porque no influye en las características del agua o su efecto es mínimo, los elementos que lo componen son:

- **Rejillas o tamiz.**

Suelen ser barras metálicas prismáticas o circulares, colocadas en paralelo con separaciones que oscilan entre los 2.5 y 5.00 centímetros.

La función principal de este elemento es evitar que sólidos de gran tamaño ingresen al sistema de tratamiento, evitando de esta manera a obstrucción de los elementos y, por ende, el mal funcionamiento de la planta (Ilustración 2-6 se muestra un sistema típico de barras). Este elemento suele ser acompañado de un área donde se recolecta los sólidos atrapados por las rejillas, para secarlos antes de su remoción, este elemento suele ser una placa de metal con agujeros que permitan el escurrimiento del agua por gravedad.



Ilustración 2-6, imagen tomada de la empresa «Aeration Argentina», empresa dedicada a la depuración de aguas negras<sup>4</sup>

- **Desarenador.**

Normalmente ubicados inmediatamente después de las rejillas; su función consiste en sedimentar las arenas (material pesado) contenidas en el agua, precipitándolas hacia el fondo del elemento, en donde, posteriormente serán eliminadas mediante una limpieza periódica. Su forma típica suele ser como un canal (como se aprecia en la Ilustración 2-7), sin embargo, actualmente también se utilizan los desarenadores aireados, que funcionan con una inyección de aire a presión para hacer que el agua choque con una pared inclinada, haciendo deslizar por esta

---

<sup>4</sup> <http://aeration.com.ar/index.html>

superficie los sólidos sedimentables hasta acumularlos en el fondo, de donde más tarde serán removidos de forma manual. (ver Ilustración 2-8)



Ilustración 2-7, desarenador típico

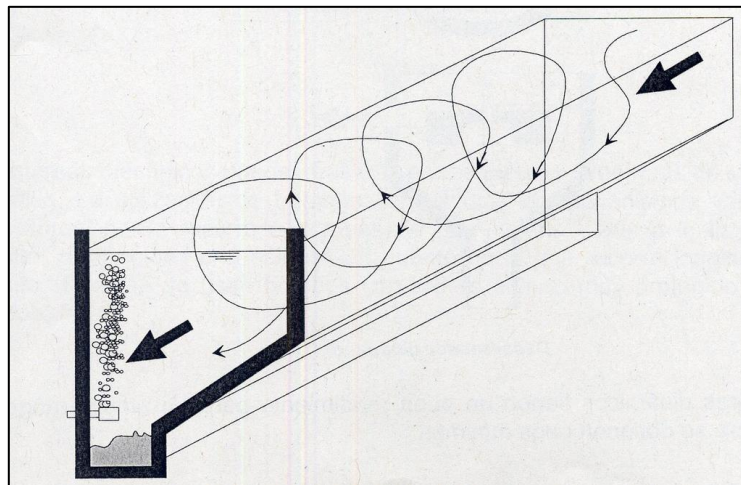


Ilustración 2-8, imagen de un desarenador aireado, imagen extraída del XXXII curso sobre tratamiento de aguas residuales, Ministerio de Agricultura, España, 2015.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> <https://docplayer.es/75294571-Eschema-de-una-edar-pretratamientos.html>

- **Trampa de grasas**

Este elemento se suele situar después del desarenador en vista que una alta acumulación de arenas podría afectar su funcionamiento.

La función principal de este elemento es, como su nombre lo indica, atrapar las grasas contenidas en el agua residual (o una buena parte de las grasas), este método aprovecha la poca densidad de las grasas, lo que les permite flotar y acumularse en la superficie del tirante de agua, permitiendo que el agua continúe su proceso con una menor cantidad de grasa.

- **Homogeneizador**

El tanque homogeneizador es un elemento utilizado para retener el agua residual por cierto periodo de tiempo, permitiendo que, durante este proceso, el sistema no tenga una caída de caudal en las horas críticas (cuando el caudal es mínimo) o un aumento repentino (cuando ocurre el máximo caudal del día).

La forma de este tanque puede ser circular o prismática, comúnmente se suele encontrar rectangulares o cuadrados, debido a la facilidad para dimensionarlo, sin embargo, también pueden ser diseñados en formas circulares.

### 2.1.5 Tratamiento primario

El tratamiento primario busca retener una buena parte de los sólidos en suspensión que lleva el agua residual (entre un 90 y 95% de los sólidos sedimentables). A fin de lograr lo anterior se emplea el efecto de la gravedad, para que se depositen los sólidos sedimentables. El agua residual se deja depositada en grande estanques decantadores y permanece retenida.



**Ilustración 2-9 Tanque sedimentador fuente: Cooperativa de obras y servicios públicos de santa teresita LTDA.<sup>6</sup>**

---

<sup>6</sup> Imagen tomada de [http://www.coopst.com.ar/Coopst\\_Servicio\\_OS3.php](http://www.coopst.com.ar/Coopst_Servicio_OS3.php)

### 2.1.6 Tratamiento secundario

Se define el tratamiento secundario como la combinación de diferentes procesos empleados normalmente para la eliminación de compuestos orgánicos biodegradables.

La eliminación de la materia orgánica en suspensión y en estado coloidal mediante un proceso de digestión biológica como también la degradación sustancias del contenido biológico del agua residual originado por los desechos humanos, son los objetivos primordiales que se plantean durante la realización de esta etapa del proceso de tratamiento de agua residual. La etapa secundaria comprende un proceso biológico natural, donde participan los microorganismos presentes en el agua residual.

Entre los métodos de depuración biológica podemos mencionar:

- **Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA o UASB)**

Conocidos también con el nombre de UASB por sus siglas en inglés (Up Flow Anaerobic Sludge Blanket), son reactores biológicos utilizados mayormente en climas tropicales, las experiencias del uso de estos elementos en países como Brasil y Colombia han mostrado su potencial en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

El proceso inicia inyectando el flujo de agua que se distribuye en el fondo del reactor y el mismo es impulsado hacia arriba (el flujo ascendente es el que da el nombre a este elemento), dentro del tanque da inicio un proceso de digestión biológico por medio de bacterias anaerobias metanógenas acetotróficas (del tipo *Methanoseata*), estas bacterias se alimentan de los compuestos orgánicos liberando gas metano (que puede ser utilizado como fuente de energía o quemado para evitar la contaminación atmosférica por metano); un óptimo crecimiento bacteriano genera la adhesión de las mismas formando compuestos granulares que más tarde, por su peso y el efecto de la gravedad, se precipitan hacia el fondo del reactor, generando fangos bacterianos que pueden ser utilizados como abono (una vez deshidratados). (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005)

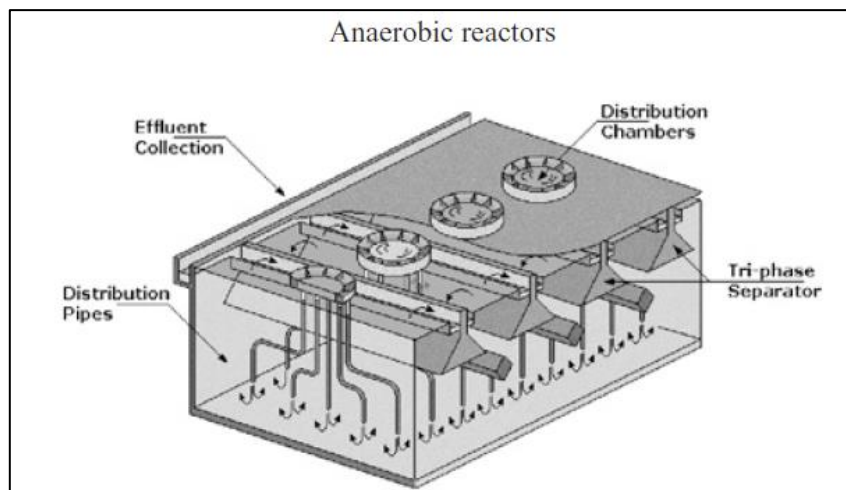


Ilustración 2-10, sistema de varios RAFA, imagen tomada de Sperling & Lemos Chernicharo, 2005, pág. 744



- **Filtro anaeróbico de flujo ascendente (F.A.F.A.)**

Son tanques que contienen un lecho filtrante, el material (sustratos) debe tener una superficie capaz de permitir el crecimiento bacteriano, normalmente este material suele ser roca o piedra volcánica. El proceso consiste en hacer circular el agua de abajo hacia arriba a través del material filtrante, es ahí donde quedan retenidas las partículas orgánicas y las bacterias comienzan a alimentarse y descomponerlas (como se muestra en la Ilustración 2-11)

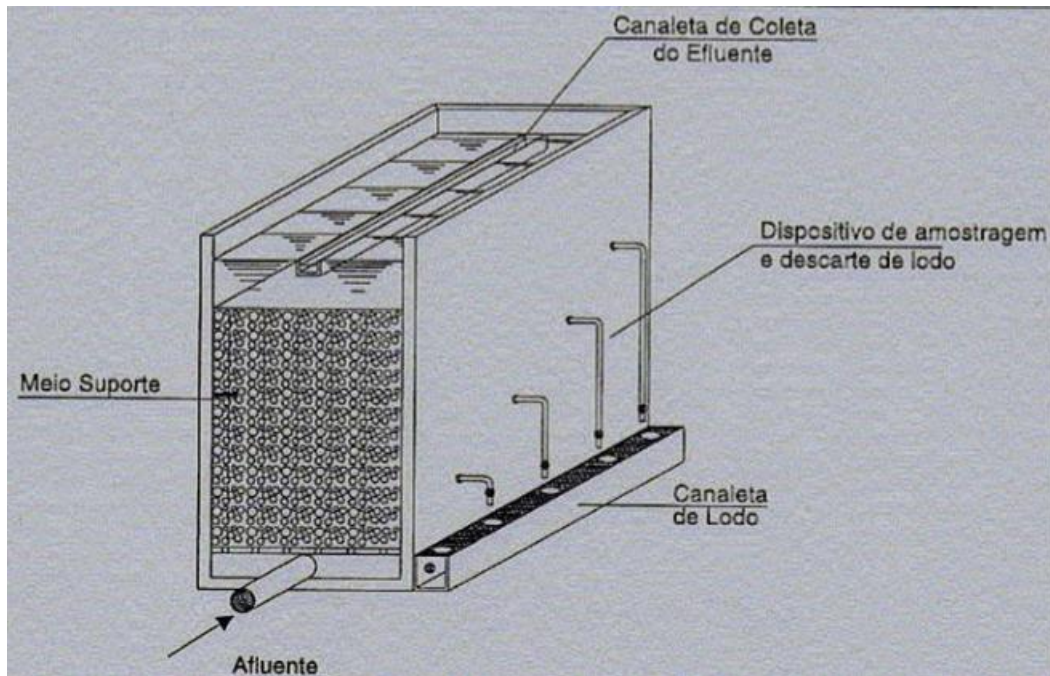


Ilustración 2-11, Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente, imagen tomada de Taller “Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, SANAA<sup>7</sup>”

<sup>7</sup> Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), Honduras.

- **Lagunas**

Este elemento no es nada más que un estanque diseñado con un flujo lento para promover el crecimiento bacteriano, según la profundidad las lagunas pueden ser:

1. Aerobias, donde el proceso se lleva por medio de bacterias que necesitan el oxígeno para su crecimiento, estas lagunas reciben el oxígeno por el contacto con el aire y por la respiración celular de las algas, para lograrlo suelen tener poca profundidad y una mayor área superficial.
2. Anaerobias, son aquellas cuyo proceso de depuración es realizado por bacterias que no necesitan el oxígeno para cumplir con su ciclo de vida, este proceso se da en las profundidades de la laguna donde no hay oxígeno, a diferencia de las anteriores, suele tener una mayor profundidad y una menor área superficial.
3. Facultativas, que son una combinación de ambas, estas suelen ser diseñadas para que se realicen ambos procesos (aerobio y anaerobio) dentro de la laguna. Como se muestran en la Ilustración 2-12, lagunas para la depuración del agua, imagen tomada de la organización «Alianza por el agua»
4. Maduración, llamadas también lagunas de pulimento tienen la función de mejorar la calidad del agua trata antes de ser vertida

al cuerpo receptor, es parte del tratamiento secundario avanzado o terciario en donde se remueven los patógenos contenidos.

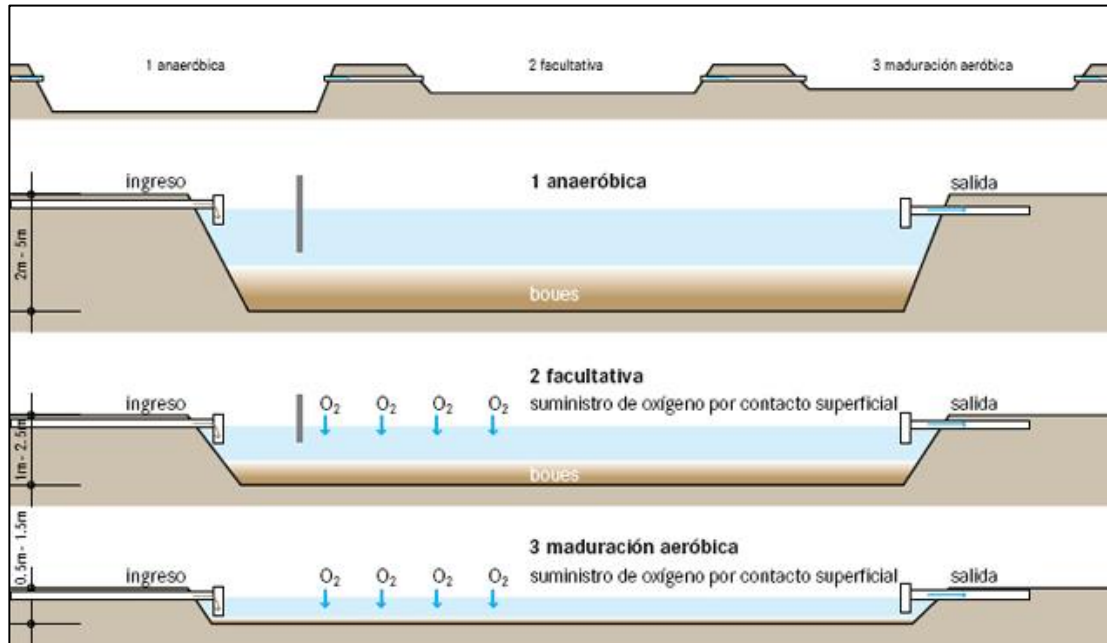


Ilustración 2-12, lagunas para la depuración del agua, imagen tomada de la organización «Alianza por el agua»<sup>8</sup>

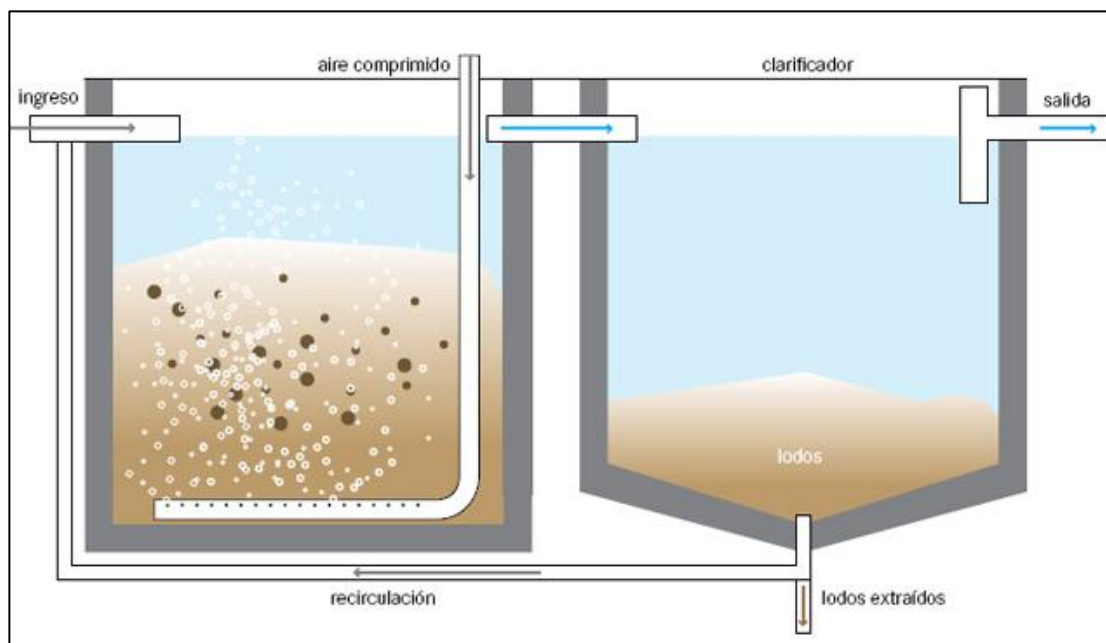
- Lodos activados

Este proceso consta de un tanque donde se retiene el agua para luego inyectarle oxígeno mediante procesos mecánicos, la circulación de oxígeno genera un proceso aerobio, donde las bacterias se alimentan del material orgánico, las bacterias se juntan al contenido orgánico

<sup>8</sup> Organización fundada con fondos españoles mediante la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo); el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; la oficina para los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas y Expo-Zaragoza 2008, en su portal web.

<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t2.html>

formando fangos que luego son separados del agua y recirculados en el estanque para realizar un proceso continuo, la ventaja de este proceso es que debido a la alimentación bacteriana, los fangos residuales son mínimos en comparación a otros procesos (ver Ilustración 2-13).



**Ilustración 2-13, tanque donde se realiza el proceso de lodos activados, imagen tomada de la organización «Alianza por el agua»<sup>9</sup>**

<sup>9</sup> Organización fundada con fondos españoles mediante la AECID (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo); el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; la oficina para los Objetivos de Desarrollo del Milenio de Naciones Unidas y Expo-Zaragoza 2008, en su portal web.

<http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/t/t2.html>

### 2.1.7 Tratamiento terciario

Es la fase final del tratamiento de aguas residuales, en la cual se utiliza la desinfección por medio de cloración o rayos ultravioletas para aumentar la calidad en el efluente.

El propósito de esta última fase del tratamiento terciario es reducir substancialmente el número de organismos vivos, que será descargada nuevamente en su cauce natural. La efectividad de este proceso dependerá del tipo de desinfección que se aplique, en el caso de la cloración, de la dosis de cloro.

## **3 CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARAGOZA**

### **Generalidades**

La ciudad de Zaragoza está situada a 600 msnm, con una extensión territorial de 22.71 kms<sup>2</sup>; El municipio cuenta con 13 centros educativos, una unidad de salud, 4 promotoras de salud y una farmacia; En el tema de economía sus principales actividades son la agricultura (granos básicos y café), y la industria (maquilas y construcción).

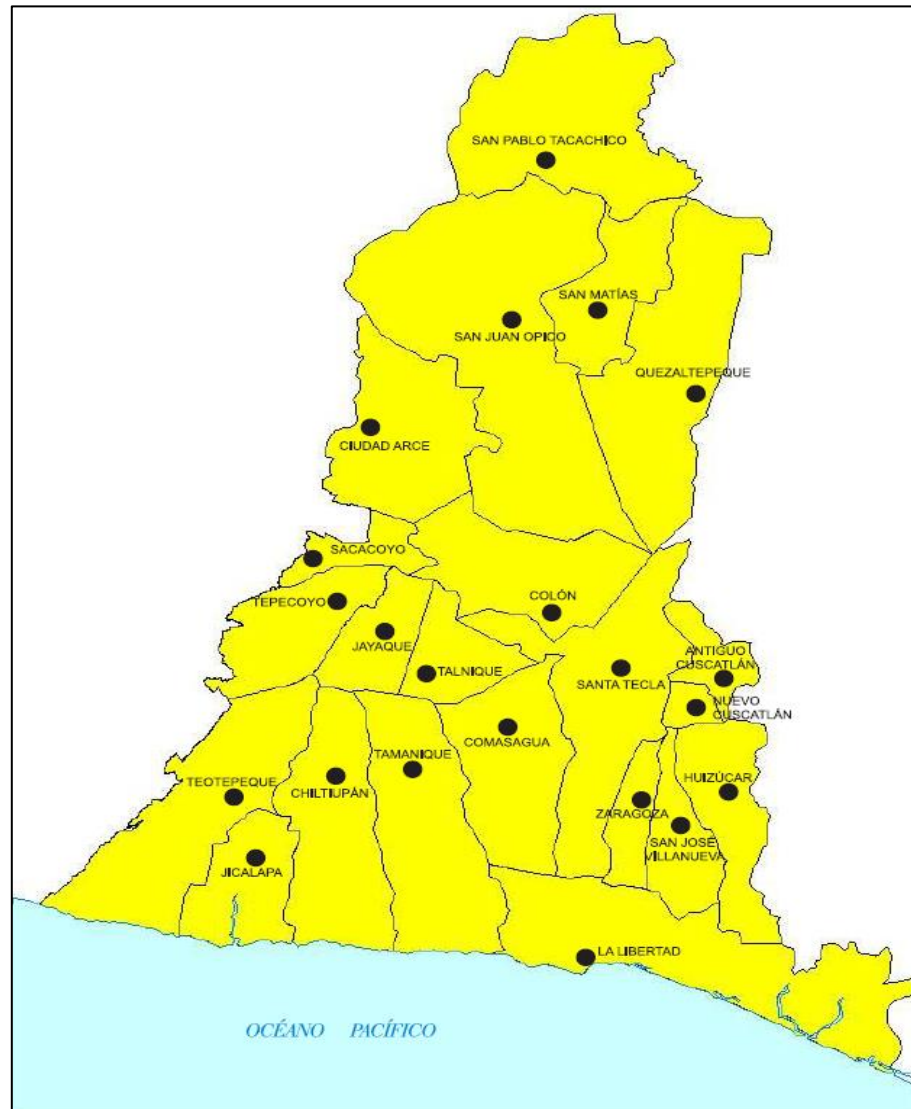
En cuanto a lo que se refiere a el clima del municipio, es caluroso y pertenece al tipo de tierra caliente y templada. El monto pluvial anual oscila entre 1,900

y 2,200 milímetros; La vegetación está constituida por bosque húmedo tropical y bosque húmedo subtropical; las especies arbóreas más notables son: izote, madre cacao, carao, almendro, maquilishuat, aceituno, mango, morro, cedro, bálsamo, cortez negro y pepeto.

En la variedad de rocas existentes, predominan los tipos de lava dacíticas y andesíticas, sedimentos volcánicos detríticos con materiales piroclásticos y corrientes de lava intercaladas; y los diferentes tipos de suelo que se encuentran en el municipio son: i) Andosoles y Regosoles, en terrenos ondulados a alomados; ii) Regosoles Latosoles Arcillo Rojizos y Andosoles, en terrenos alomados a montañosos accidentados; iii) Latosoles, Arcillo Rojizos y Litosoles, en terrenos ondulados a montañosos muy accidentados.

### 3.1.1 Ubicación

El Municipio de Zaragoza perteneciente al departamento de La Libertad, limita al norte y oeste con el municipio de Santa Tecla; Al este con San José Villanueva; al sur con La Libertad. Se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas siguientes: 13° 37' 27" LN (extremo septentrional) y 13° 31' 58" LN (extremo meridional); 89° 16' 48" LWG (extremo oriental) y 89° 18' 51" LWG (extremo occidental)



**Ilustración 3-1, departamento de La Libertad**

### 3.1.2 División político-administrativa

El municipio de Zaragoza, administrativamente, se divide en: 3 barrios, 4 cantones y 14 caseríos además de sus 61 colonias, lotificaciones y comunidades.

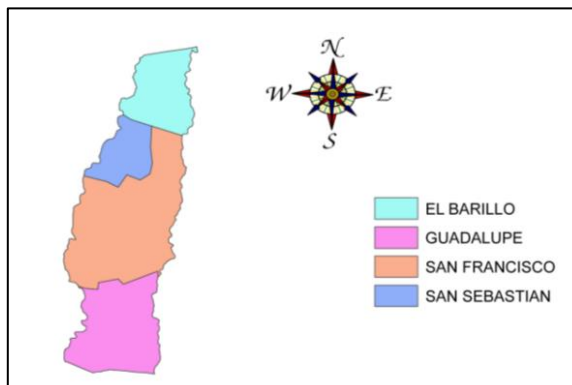


Figure 1. Cantones del municipio de Zaragoza

Las colonias que se mencionan a continuación no se describen como pertenecientes a un barrio o caserío específico, sino que se ubican dentro de la zona urbana (primer grupo,) o dentro de cada cantón descrito en la zona rural (segundo grupo), pero no se describen por su ubicación en cada caserío.

Tabla 3-1. División administrativa del municipio de Zaragoza, zona urbana

Barrios		Colonias			
1.	El Centro	1.	Villas de San Fernando	16.	Col. El Rastro
2.	El Calvario	2.	Residencial Palo Alto	17.	Col. Altos del Río
3.	La Cruz	3.	Res. Brisas de Las Mercedes	18.	Col. España 1
		4.	Residencial Peña Flor	19.	Col. España 2
		5.	Colonia El Cedral	20.	Col. San Nicolás
		6.	Col. Prados de Zaragoza	21.	Col. Nueva San Nicolás
		7.	Col. Pilar	22.	Col. Maldonado
		8.	Col. Vista Hermosa 1	23.	Col. Santa Teresa
		9.	Col. Vista Hermosa 2	24.	Col. San Judas
		10.	Col. Franco	25.	Col. Miramar
		11.	Col. Las Margaritas	26.	Col. San Antonio 1
		12.	Col. Borja	27.	Col. San Antonio 2
		13.	Col. Jardines de Zaragoza	28.	Col. El Zaito 1
		14.	Col. La Fuente 1	29.	Col. El Zaito 2
		15.	Col. La Fuente 2		



Cantón		No. De Caseríos		Colonias/Comunidades			
1.	El Barrillo	1.	El Barrillo	1.	Colonia Las Brumas 1		
				2.	Colonia Las Brumas 2		
				3.	Colonia El Tránsito		
				4.	Colonia San Cristóbal		
				5.	Colonia Los Encantos		
				6.	Colonia El Mirador 1		
				7.	Colonia El Mirador 2		
				8.	Colonia Loma Linda		
				9.	Comunidad Buena Vista		
				10.	Comunidad El Progreso		
2.	Guadalupe	1.	Guadalupe	1.	Lotificación Montimar		
				2.	San Antonio Chilama		
				3.	Agua Escondida		
				4.	El Nance		
3.	San Francisco	1.	San Francisco	1.	Lotificación El Jiote		
				2.	El Corralito	2.	Lotificación Corinto 1
	3.	Lotificación Corinto 2					
	4.	Lotificación Corinto Hacienda					
	5.	Lotificación Casa Blanca					
	6.	Lotificación Veracruz					
	7.	Colonia El Zaité					
	8.	Residencial Altos de Zaragoza					
	9.	Lotificación Quinta Miramar					
	10.	Lotificación Quinta Lotyca					
	11.	Sitio La Maraionera					
	12.	Lotificación Los Cedros					
	13.	Marbella					
	14.	Lotificación Villas de Zaragoza					
	15.	Urbaniz. Brisas de Zaragoza					
4.	San Sebastián	1.	San Sebastián	1.	Residencial Los Manantiales		
				2.	La Esmeralda	2.	La Vega 1
						3.	La Vega 2
						4.	El Cocal
						5.	El Frutal
3.	Asuchío	3.	La Vega 2				
		4.	El Cocal				
		5.	El Frutal				

**Table 1. División Administrativa del Municipio de Zaragoza. zona rural, (USAID, 2012)**

### 3.1.3 Ríos principales del municipio

Al poniente del municipio se encuentra el río Asuchío y Chilama que pertenecen a la subcuenca y cuenca de Chilama; en el centro del municipio y al oriente corren los ríos El Jute y San Antonio, respectivamente, ambos pertenecientes a la subcuenca y cuenca El Jute.

## 4 CAPÍTULO IV: REVISIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

### Población y caudal de diseño

#### 4.1.1 Población de diseño

La población de Zaragoza ha aumentado considerablemente con el paso del tiempo, para determinar la población de diseño se ha realizado 2 apreciaciones importantes, la proyección población y el espacio disponible.

##### 1. Los censos nacionales

Utilizando como referencia el censo nacional realizado en 1992 por la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTyC), se establece la primera población (P1) como se muestra en la Tabla 4-1

$$P_1 = 14,434 \text{ habitantes}$$

CUADRO A. CRECIMIENTO DE LA POBLACION, SEGUN DEPARTAMENTO,  
Y MUNICIPIOS CENSOS 1971-1992

Departamento y Municipios	Censos		Crecimiento Absoluto	Tasa de Crecimiento % (1)
	1971	1992		
LA LIBERTAD	285,575	513,866	228,291	2.81
01- Nueva San Salvador	53,067	113,698	60,631	3.65
02- Antigua Cuscatlán	8,957	28,187	19,230	5.55
03- Ciudad Arce	25,132	39,796	14,664	2.19
04- Colón	20,116	49,570	29,454	4.34
05- Comasagua	9,430	10,871	1,441	0.67
06- Chiltiupán	7,005	10,988	3,983	2.14
07- Huizúcar	7,797	9,205	1,408	0.78
08- Jayaque	7,470	11,401	3,931	2.01
09- Jicalapa	2,474	5,523	3,049	3.85
10- La Libertad	18,064	33,590	15,526	2.96
11- Nuevo Cuscatlán	2,337	5,119	2,782	3.76
12- Opico	34,327	51,701	17,374	1.95
13- Quezaltepeque	30,329	46,693	16,364	2.05
14- Sacacoyo	4,525	9,183	4,658	3.39
15- San José Villanueva	3,851	7,247	3,396	3.02
16- San Matías	4,910	7,358	2,448	1.92
17- San Pablo Tacachico	13,089	18,707	5,618	1.70
18- Talnique	4,438	6,193	1,755	1.58
19- Tamanique	6,493	11,387	4,894	2.68
20- Teotepeque	8,611	12,177	3,566	1.65
21- Tepecoyo	8,941	10,838	1,897	0.91
22- Zaragoza	4,212	14,434	10,222	5.97

n

(1) Se usó la fórmula  $P_n = P_o (1 + r)^n$ 

Tabla 4-1, población en los municipios del departamento de La Libertad, según CENSOS  
NACIONALES V DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1992, tomo V, La Libertad

### **Población actual**

Según la DIGESTYC en su IV censo en el año 2007 la población en el municipio de Zaragoza es de 22,525 habitantes. En la siguiente tabla se representa la población por sexo. (DIGESTYC, 2007)

MUNICIPIO	POBLACIÓN		
	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
Zaragoza	22,525	10,684	11,841

**Ilustración 4-1, población del municipio de Zaragoza, (DIGESTYC, 2014)**

A continuación, se muestran las poblaciones del año 2005 al 2025 de distintitos municipios del departamento de La Libertad, resaltando el municipio de Zaragoza, teniendo en cuenta que en estos datos se presenta la población total, incluyendo los habitantes de zona urbana y zona rural, estos se utilizarán para determinar las diferentes tasas de crecimiento y así obtener la población de diseño (Ilustración 4-2 e Ilustración 4-3).

Departamento 05- La Libertad. Estimaciones y proyecciones de población por sexo y año, según municipios. 2005-2025.											
Departamento y Municipio	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>05- La Libertad</b>	<b>695,628</b>	<b>703,421</b>	<b>711,196</b>	<b>718,892</b>	<b>727,364</b>	<b>736,380</b>	<b>745,719</b>	<b>755,305</b>	<b>765,002</b>	<b>774,807</b>	<b>784,613</b>
01- Santa Tecla	129,747	130,513	131,235	131,901	132,667	133,488	134,322	135,155	135,959	136,735	137,462
02- Antiguo Cuscatlán	34,791	35,529	36,276	37,029	37,831	38,672	39,542	40,436	41,348	42,278	43,219
03- Ciudad Arce	63,357	64,146	64,928	65,699	66,537	67,419	68,326	69,251	70,181	71,116	72,044
04- Colón	98,466	101,412	104,409	107,448	110,656	114,005	117,464	121,022	124,659	128,376	132,154
05- Comasagua	12,915	12,848	12,778	12,706	12,645	12,593	12,543	12,496	12,448	12,400	12,349
06- Chiltiupán	11,760	11,746	11,731	11,712	11,705	11,704	11,706	11,710	11,714	11,717	11,718
07- Huizúcar	15,342	15,458	15,572	15,682	15,808	15,943	16,084	16,228	16,373	16,517	16,660
08- Jayaque	11,969	11,938	11,904	11,868	11,842	11,823	11,808	11,794	11,780	11,765	11,748
09- Jicalapa	5,455	5,482	5,507	5,532	5,562	5,595	5,630	5,666	5,702	5,739	5,774
10- La Libertad	38,398	38,578	38,751	38,913	39,110	39,329	39,557	39,790	40,022	40,251	40,472
11- Nuevo Cuscatlán	7,170	7,297	7,425	7,553	7,692	7,838	7,989	8,144	8,302	8,464	8,627
12- San Juan Opico	78,541	79,258	79,963	80,648	81,408	82,218	83,051	83,899	84,746	85,592	86,425
13- Quezaltepeque	56,495	56,589	56,670	56,734	56,846	56,989	57,142	57,301	57,454	57,601	57,735
14- Sacacoyo	12,850	13,044	13,240	13,435	13,646	13,869	14,099	14,336	14,576	14,819	15,065
15- San José Villanueva	13,912	14,260	14,615	14,974	15,357	15,760	16,177	16,608	17,050	17,503	17,966
16- San Matías	7,908	7,892	7,874	7,854	7,841	7,833	7,827	7,822	7,817	7,812	7,805
17- San Pablo Tacachico	21,960	21,944	21,924	21,898	21,892	21,898	21,910	21,924	21,937	21,948	21,955
18- Talnique	8,779	8,833	8,885	8,936	8,996	9,061	9,129	9,200	9,270	9,340	9,410
19- Tamanique	14,368	14,475	14,580	14,682	14,799	14,925	15,056	15,190	15,325	15,460	15,593
20- Teotepeque	13,351	13,308	13,263	13,214	13,178	13,149	13,124	13,100	13,076	13,051	13,023
21- Tepecoyo	15,352	15,386	15,418	15,445	15,487	15,537	15,592	15,649	15,705	15,760	15,812
22- Zaragoza	22,742	23,485	24,248	25,029	25,859	26,732	27,641	28,584	29,558	30,563	31,597

Fuente: Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos.

**Ilustración 4-2 Poblaciones a nivel municipal del departamento de La Libertad de los años 2005 a 2015 (DIGESTIC, 2014)**

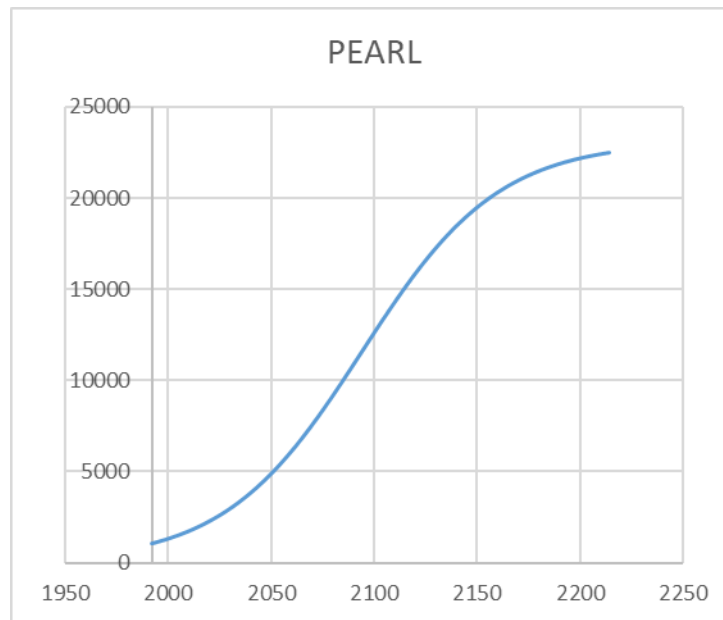
Departamento 05- La Libertad. Estimaciones y proyecciones de población por sexo y año, según municipios. 2005-2025.										
Departamento y Municipio	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>05- La Libertad</b>	<b>794,359</b>	<b>803,794</b>	<b>813,017</b>	<b>822,131</b>	<b>830,976</b>	<b>839,595</b>	<b>847,847</b>	<b>855,862</b>	<b>863,729</b>	<b>870,862</b>
01- Santa Tecla	138,130	138,695	139,175	139,588	139,908	140,144	140,273	140,316	140,292	140,106
02- Antiguo Cuscatlán	44,170	45,115	46,060	47,010	47,956	48,900	49,834	50,764	51,695	52,593
03- Ciudad Arce	72,961	73,844	74,700	75,539	76,347	77,126	77,865	78,573	79,261	79,872
04- Colón	135,981	139,814	143,668	147,557	151,449	155,353	159,236	163,120	167,019	170,815
05- Comasagua	12,296	12,236	12,171	12,103	12,030	11,952	11,868	11,780	11,689	11,588
06- Chiltiupán	11,716	11,708	11,695	11,678	11,656	11,630	11,597	11,560	11,519	11,468
07- Huizúcar	16,800	16,931	17,056	17,176	17,289	17,396	17,493	17,583	17,669	17,738
08- Jayaque	11,728	11,702	11,670	11,636	11,596	11,551	11,500	11,445	11,387	11,318
09- Jicalapa	5,808	5,839	5,868	5,896	5,921	5,943	5,963	5,980	5,996	6,005
10- La Libertad	40,681	40,867	41,034	41,188	41,321	41,435	41,524	41,595	41,652	41,667
11- Nuevo Cuscatlán	8,791	8,954	9,117	9,280	9,442	9,603	9,762	9,920	10,078	10,230
12- San Juan Opico	87,238	88,002	88,729	89,430	90,088	90,707	91,273	91,800	92,296	92,701
13- Quezaltepeque	57,850	57,929	57,979	58,010	58,009	57,981	57,916	57,825	57,714	57,545
14- Sacacoyo	15,311	15,552	15,791	16,030	16,265	16,497	16,723	16,946	17,167	17,375
15- San José Villanueva	18,436	18,908	19,384	19,867	20,353	20,843	21,332	21,825	22,324	22,812
16- San Matías	7,797	7,784	7,767	7,749	7,727	7,702	7,673	7,641	7,607	7,566
17- San Pablo Tacachico	21,956	21,944	21,923	21,895	21,856	21,808	21,747	21,678	21,602	21,506
18- Talnique	9,477	9,540	9,599	9,656	9,709	9,758	9,801	9,842	9,879	9,908
19- Tamanique	15,723	15,845	15,961	16,074	16,179	16,279	16,370	16,454	16,535	16,600
20- Teotepeque	12,993	12,954	12,911	12,863	12,810	12,751	12,686	12,616	12,542	12,457
21- Tepecoyo	15,860	15,900	15,932	15,959	15,979	15,992	15,996	15,993	15,986	15,963
22- Zaragoza	32,656	33,731	34,827	35,947	37,086	38,244	39,415	40,606	41,820	43,029

Fuente: Ministerio de Economía, Dirección General de Estadística y Censos.

**Ilustración 4-3 Poblaciones a nivel municipal del departamento de La Libertad de los años 2016 a 2025 (DIGESTIC, 2014)**

#### 4.1.2 Proyección de la población

El método elegido para realizar la proyección poblacional es la Curva Logística, también conocida como Curva de PEARL, este modelo considera que la población tiene un límite de crecimiento (forma típica en Ilustración 4-4), en el caso de las ciudades, la restricción del crecimiento poblacional es el porcentaje de urbanización, en este caso, Zaragoza cuenta actualmente con un aproximado del 80% al 90% ya urbanizado, se reduce el crecimiento habitacional.



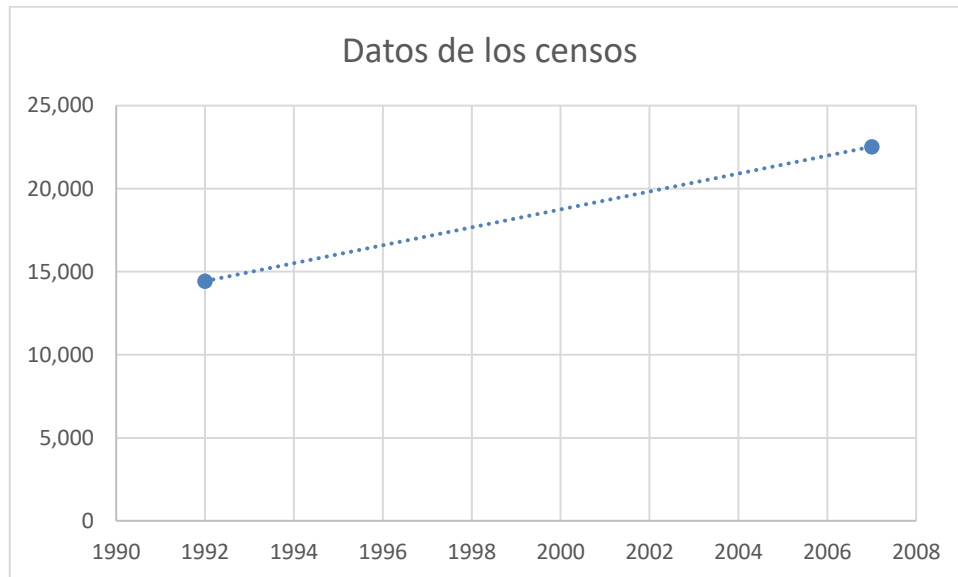
**Ilustración 4-4, forma típica de la curva de Pearl o Curva logística**

Para poder desarrollar el modelo de PEARL, es necesario tener las siguientes consideraciones:

- a. El crecimiento poblacional debe de ser constante en al menos 3 periodos de tiempo, por lo que, no debe de haber un aumento brusco en la poblacional.
- b. Los periodos de tiempo deben ser iguales (se utilizará periodos de 8 años, desde 1992 hasta 2008)

Para realizar la proyección poblacional, será necesario que antes se defina una proyección que parta desde el resultado del censo de 1992 y finalice en el

resultado del censo de 2007, de esta forma se obtendrá una proyección que parte y finaliza en dos valores conocidos (ver Ilustración 4-5 Ilustración 2-4):



**Ilustración 4-5, resultados de los censos de 1992 y 2007**

- a. Se debe de proyecta la población resultante del censo de 1992, teniendo el cuidado que, la proyección coincida con la población presentada en el censo de 2007 (para formar una línea de tendencia y proyectar esa línea un año más, obteniendo así la población proyectada para 2008), para lograr esto se forzará la gráfica de proyección de 1992 a pasar por 22,525 habitantes en el año 2007.
- b. Elección de los datos para el uso de la curva logística: la primera población a utilizar es la de 1992 (14,343 habitantes), la tercera será la población proyectada en la línea de tendencia para el año



2008 (23,064 habitantes), y finalmente, la segunda se encontrará interpolando la proyección de 1992 – 2008 (para el año 2000, la población en la proyección es de 18,749 habitantes), de esta forma se tienen 3 poblaciones en 2 periodos de tiempo iguales.

Encontrando la línea de tendencia (proyección aritmética desde 1992 hasta 2007

$$P_n = P_0 + (k(\Delta t))$$

Donde

P<sub>n</sub>: Población en el periodo “n”

P<sub>0</sub>: Población inicial

K: Constante

Δt: Periodo de tiempo (T<sub>n</sub>-T<sub>0</sub>)

$$K = \frac{(P_{2007} - P_{1992})}{(\Delta t)}$$

$$K = \frac{(22,525 - 14,343)}{(2007 - 1992)}$$

$$K = 539.40$$

Proyectando la población se obtienen los siguientes resultados (Tabla 4-2):

PROYECCIÓN ARITMÉTICA			
AÑO	PROYECCIÓN	AÑO	PROYECCIÓN
1992	14,434	2003	20,367
1993	14,973	2004	20,907
1994	15,513	2005	21,446
1995	16,052	2006	21,986
1996	16,592	2007	22,525
1997	17,131	2008	23,064
1998	17,670	2009	23,604
1999	18,210	2010	24,143
2000	18,749	2011	24,683
2001	19,289	2012	25,222
2002	19,828	2013	25,761

Tabla 4-2, proyección de población mediante el modelo aritmético

En la Tabla 4-2 se ha marcado las 3 poblaciones separadas por 2 periodos de tiempo iguales, siendo

P1= 14,434 habitantes

P2= 18,749 habitantes

P3= 23,064 habitantes

A continuación, se presenta la relación utilizada para la curva logística:

$$P_n = \frac{S}{1 + (me^{-rt})}$$

Donde

P<sub>n</sub>: Población en año "n" [hab.]

S: Capacidad de carga o población máxima (población límite) [hab.]

m: Constante

r: Tasa de crecimiento [%]

t: Periodo de tiempo [años]

$$S = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2}$$

Al sustituir los valores de las poblaciones se obtiene el valor límite de la población

$$S = 37,498 \text{ habitantes}$$

Para encontrar el valor de «m» será necesario evaluar la ecuación en sus condiciones iniciales, esto significa, que,  $t=0$  y  $P_n$ = población inicial = 14,434

$$m = \frac{S - P}{P \cdot e^{-rt}}$$

Al sustituir el valor de S se obtiene el valor de m

$$m = 1.6$$

$$r = \sqrt{(t_n - t_0) \frac{P_n}{P_0}} - 1; t_0 = 0$$

$$r = \sqrt{(t_n) \frac{P_n}{P_0}} - 1$$

Donde

r:	Tasa de crecimiento poblacional
Ttn	Intervalo de tiempo (entre 2008 y 1992) = 16 años
Pn:	Población en el año «n» (2008) = 23,064
P0:	Población en el año «0» (1992) = 14,434

De donde resulta una tasa de crecimiento poblacional

$$r = 3.01\%$$

Ahora, volviendo a la ecuación de Pearl, se sustituirán los valores y se comenzará a proyectar la población para cada año hasta 2039, año que se ha fijado como final del proyecto de mejoramiento (ver capítulo 6 de este documento)

$$P_n = \frac{S}{1 + (me^{-rt})}$$

Al sustituir obtenemos una ecuación que varía con el tiempo

$$P_n = \frac{37,498}{1 + (1.6(e^{-3.01t}))}$$

En la Tabla 4-3 se presenta la proyección poblacional utilizando la curva logística, generando la forma típica de este método en las

Año	Población	Año	Población
1992	14434	2016	21115
1993	14702	2017	21392
1994	14972	2018	21668
1995	15244	2019	21943
1996	15517	2020	22216
1997	15791	2021	22488
1998	16067	2022	22758
1999	16344	2023	23026
2000	16622	2024	23293
2001	16901	2025	23557
2002	17181	2026	23820
2003	17461	2027	24080
2004	17742	2028	24338
2005	18024	2029	24594
2006	18306	2030	24848
2007	18588	2031	25099
2008	18870	2032	25348
2009	19152	2033	25593
2010	19434	2034	25837
2011	19716	2035	26077
2012	19997	2036	26315
2013	20278	2037	26550
2014	20557	2038	26781
2015	20837	2039	27010

Tabla 4-3, proyección poblacional utilizando la curva logística hasta 2039

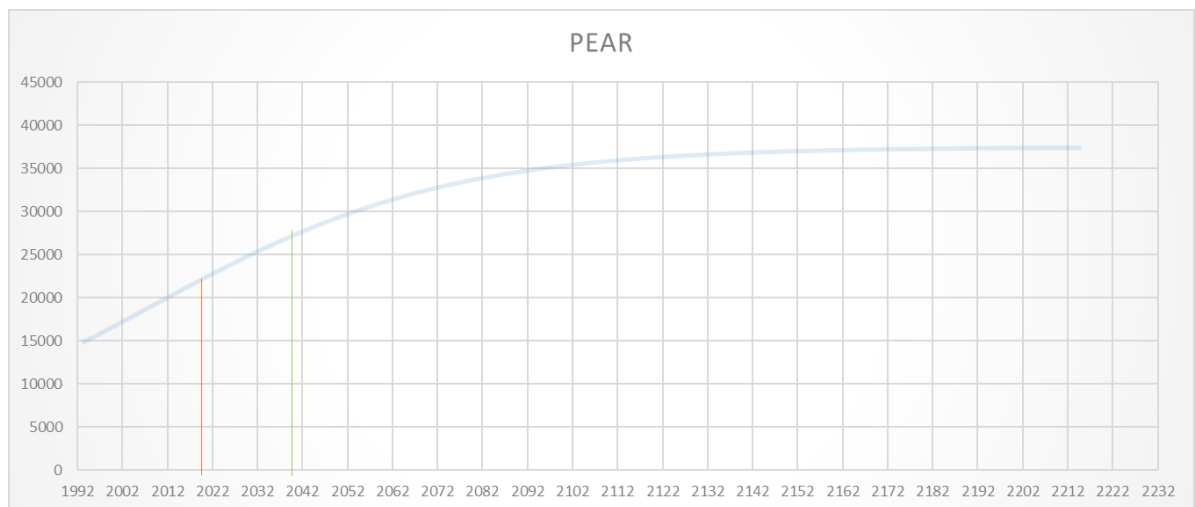


Ilustración 4-6, resultado de la curva de Pearl, se define el intervalo de tiempo utilizado entre las líneas verticales de color rojo y verde

## **Estado actual del sistema de alcantarillado sanitario**

En las visitas de campo realizadas, se pudo encontrar que el colector de aguas residuales funciona según fue diseñado en su momento, cumpliendo con la función de transportar los vertidos hasta las lagunas depuradoras al sur de la ciudad.

Sin embargo, se pudo observar (en las visitas técnicas) que la mayor parte de la población no posee el servicio de alcantarillado sanitario, esto, al parecer, se debe en gran parte al poco desarrollo que la ciudad tuvo en el momento de diseño, y las pendientes topográficas.

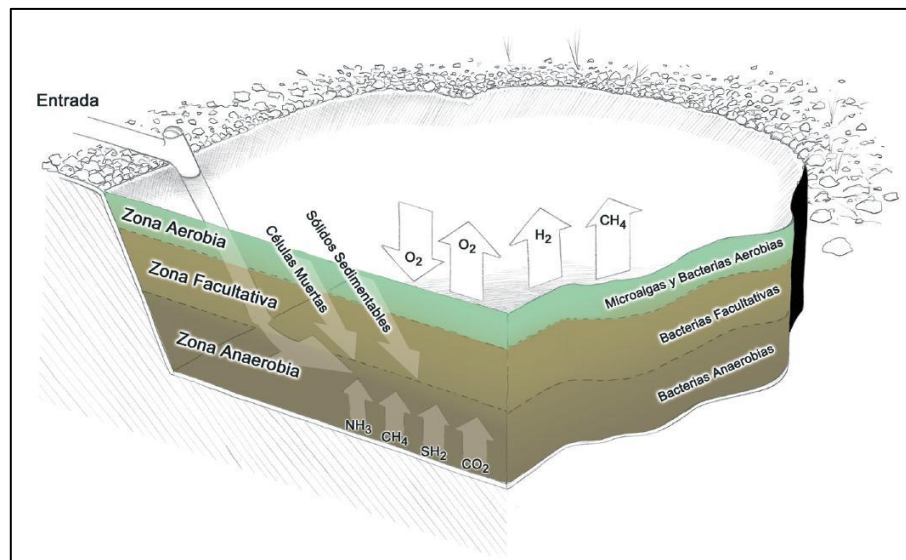
El colector posee tuberías de asbesto cemento de 10 pulgadas de diámetro en el colector principal, mientras que las otras tuberías son de PVC en diámetro de 8 pulgadas, todas las tuberías se encuentran en buen estado y funcionan según fueron diseñadas (para 9,000 habitantes).

## **Lagunas depuradoras**

### **4.1.3 Parámetros de diseño**

Las lagunas datan de los años 80, fueron diseñadas para tratar el agua residual doméstica de la zona urbana de Zaragoza. La depuración consta de 2 etapas, la primera: el agua ingresa a una laguna facultativa, donde da inicio el proceso de depuración biológico; por bacterias anaerobias en parte de mayor profundidad de la laguna y bacterias aerobias en la zona de la laguna

más cercana a la superficie, encontrando la peculiaridad en este tipo de lagunas que en el medio se pueden encontrar bacterias facultativas, llamadas así por poseer la facultad de adaptarse al medio cambiante en esa zona (aerobia – anaerobia). Como se muestra en la Ilustración 4-7.



**Ilustración 4-7, sección típica de lagunas facultativas, fuente: Raúl Fuentes Beltrán, Sistemas de depuración Natural, 2011**

#### 4.1.4 Estado actual de las lagunas

En la visita de campo se comprobó que las lagunas están azolvadas, por lo que no están cumpliendo con la depuración de las aguas residuales correctamente, en la Ilustración 4-8 se puede ver el estado actual de las lagunas.



Ilustración 4-8, imagen satelital de las lagunas en Zaragoza, imagen de Google Earth

En la Ilustración 4-9 se ha resaltado las zonas de las lagunas donde no se está realizando proceso de tratamiento debido a la acumulación de lodos.

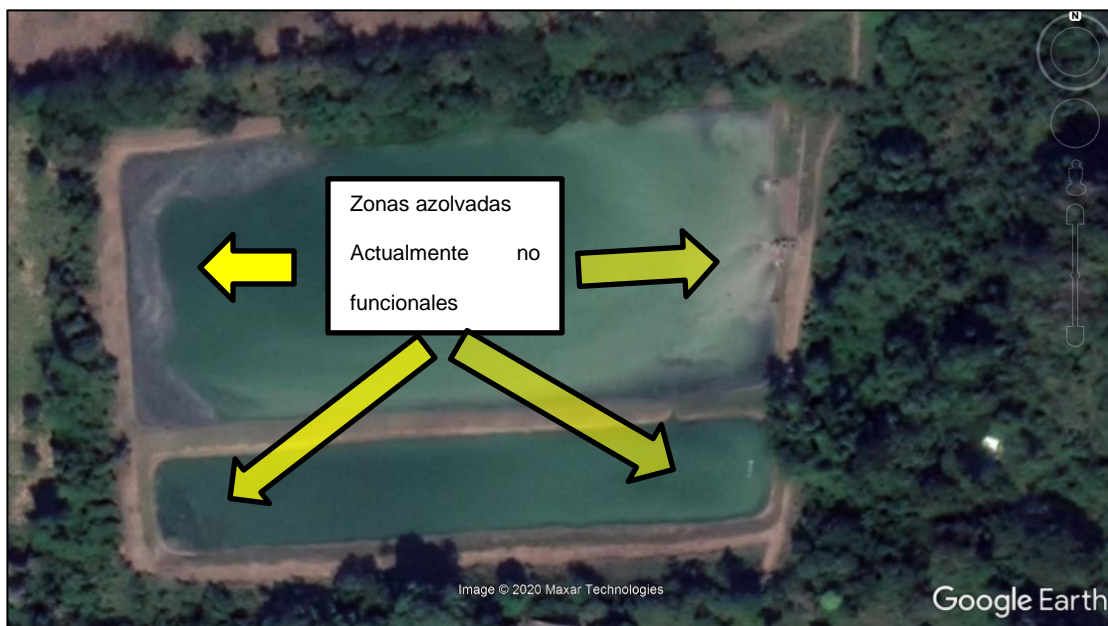


Ilustración 4-9, imagen de las lagunas, resaltando las zonas no funcionales



## Resultado de la revisión de capacidad del alcantarillado sanitario y lagunas de estabilización

### 4.1.5 Alcantarillado sanitario

Con la ayuda del software SEWERCAD realizamos la modelación de la red tal como existe en la actualidad (Ilustración 4-10), con sus respectivos diámetros, materiales y pendientes, se puede notar la diferencia en la propuesta al comparar con la Ilustración 5-33 (actualmente se tienen 69 pozos de visita en la red y se han proyectado 403 en la propuesta).

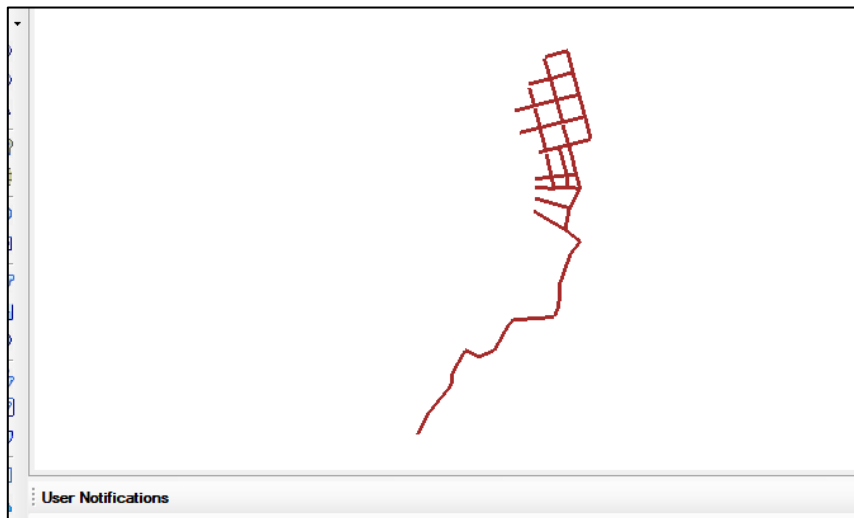


Ilustración 4-10. Modelado de red existente.

En las tablas Tabla 10-1 y Tabla 10-2, se muestran los resultados obtenidos en la simulación de la red existente.

Según el resultado el sistema de alcantarillado actual tiene la capacidad de recolectar eficientemente las aguas residuales, el problema se presentaría al integrar al resto de la red para lo cual es necesario realizar un rediseño.

#### 4.1.6 Lagunas de estabilización

Para poder llevar a cabo la revisión de la laguna facultativa, se comenzará utilizando las dimensiones de esta (para la población de diseño vista en el capítulo 4 de este documento)

*Largo = 130 metros*

*Ancho = 60 metros*

*Profundidad = 2.5 metros*

Esto genera un volumen

$$Vol = (130m)(60m)(2.5m)$$

$$Vol = 19,500 m^3$$

Utilizando el caudal y el volumen, se procede a encontrar el periodo de retención

$$PR = \frac{Vol}{Q}$$

$$PR = \frac{19,500m^3}{777.60 \frac{m^3}{D}}$$

$$PR = 25.07 D$$

Utilizando este periodo de retención para la remoción de DBO, se tiene:

$$\frac{l_e}{l_a} = \frac{4ae^{\left(\frac{1}{2d}\right)}}{(1+a)^2 e^{\left(\frac{a}{2d}\right)} - (1-a)^2 e^{\left(\frac{-a}{2d}\right)}}$$

Donde:

$l_e$ : DBO en el efluente

$l_a$ : DBO en el afluente

$$a = [1 + 4K_T\theta_m d]^{1/2}$$

$\theta_m$ : Tiempo de retención [D]

$$K_T = K_{20^0}(1.09)^{T-20}; K_{20} = 0.10$$

d: Factor de dispersión (0.5)

$$a = [1 + 4(0.1)(25)(0.5)]^{1/2} = 2.45$$

$$\frac{l_e}{l_a} = \frac{4(2.45)e^{\left(\frac{1}{2(0.5)}\right)}}{(1+2.45)^2 e^{\left(\frac{1.26}{2(0.5)}\right)} - (1-2.45)^2 e^{\left(\frac{-1.26}{2(0.5)}\right)}}$$

$$\frac{l_e}{l_a} = 0.19$$

$$l_e = 0.19(l_a) = 0.19(800) = 154.80 \text{ mg/L}$$

$$l_e = 154.80 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \gg 60 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ (valor máximo permitido)}$$

Con lo anterior se puede demostrar que las condiciones actuales de la laguna facultativa no generan una remoción de DBO adecuada para el caudal de diseño.

## **5 CAPÍTULO V: PROPUESTA DE DISEÑO DE RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO**

### **Información preliminar del municipio**

La zona urbana del municipio de Zaragoza cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario, a simple vista el sistema funciona correctamente, desplazando el agua servida de Norte a Sur del casco urbano de Zaragoza, sin embargo, la cobertura no es suficiente para toda la zona urbana.

### **Normativa vigente y parámetros de diseño**

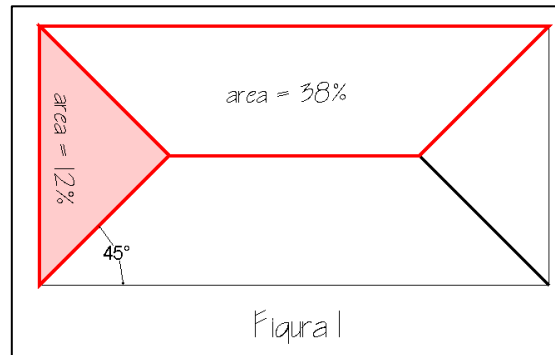
Se utilizará la normativa de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) en su norma técnica presentada en el año 2014

### **Diseño de la red**

Para el diseño de la red será necesario considerar

- 1 Pendiente, de la topográfica se encuentran las pendientes de la red

- 2 Área de influencia, para cada pozo se determinará qué áreas aportan caudal. Se han identificado 3 tipos de áreas de influencia como se muestran en las siguientes figuras.

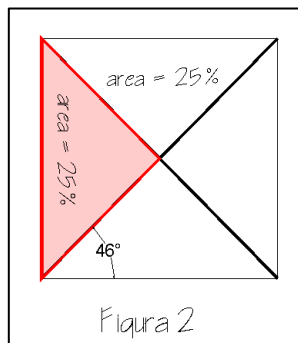


**Ilustración 5-1, distribución de áreas para figuras rectangulares**

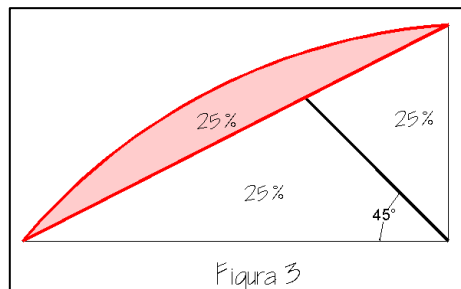
Para la figura 1 de la Ilustración 5-1 se trazan líneas a 45° dando como resultado una distribución con los siguientes porcentajes: dos lados del 12% y los dos lados restantes del 38% respectivamente.

En la figura 2 de la Ilustración 5-2 se presenta la distribución para figuras cuadradas, siempre trazando líneas a 45°.

En la figura 3 de la Ilustración 5-3, se considera figuras con secciones circulares



**Ilustración 5-2, distribución de áreas para figuras cuadradas**



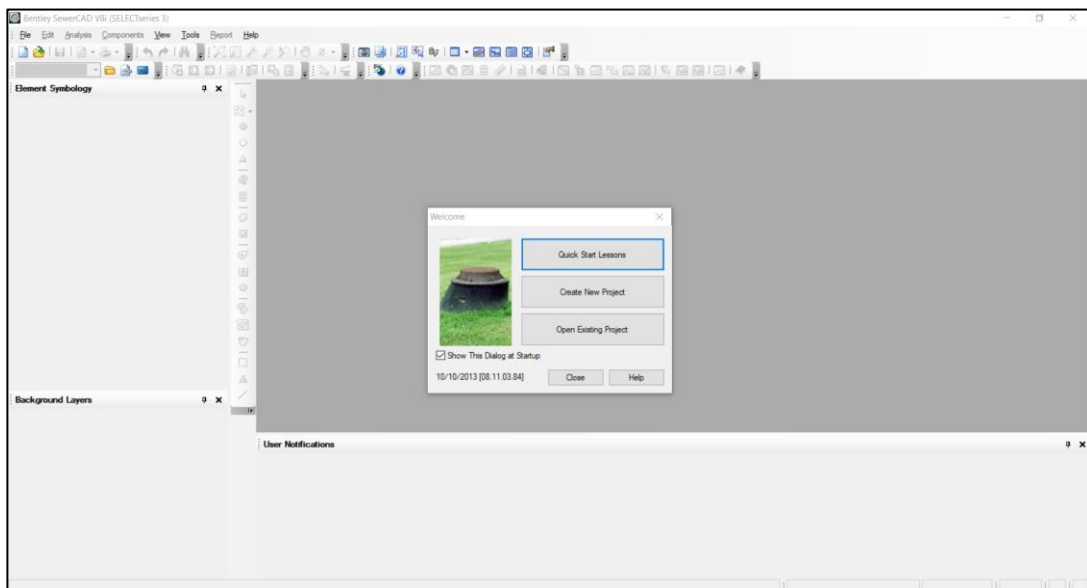
**Ilustración 5-3, distribución de áreas para figuras diferentes**

- 3 Caudal en cada pozo, esto se calculará con base en el área de influencia, la densidad poblacional y la dotación diaria por persona.
- 4 Se elabora un prediseño en Autodesk Civil 3D, se realiza el modelado en el software SewerCAD de Bentley System para obtener el diseño final de la red
- 5 Finalmente se analiza los resultados obtenidos y se acepta o realizan modificaciones a la propuesta.

## Uso del software SEWERCAD v8i

### 5.1.1 Interfaz y parámetros iniciales

Al abrir el software aparece pantalla inicial con las siguientes opciones (ver Ilustración 5-4)



**Ilustración 5-4, ventana inicial del software**

#### Quick Start Lessons

En la primera opción: “Quick Start Lessons” el programa nos ofrece un breve tutorial de inicio, brindando una guía sobre las funciones de las herramientas que contiene como se muestra en la Ilustración 5-5 e Ilustración 5-6

Las lecciones son muchas y pueden dar una idea bastante amplia al usuario del alcance de sus herramientas.

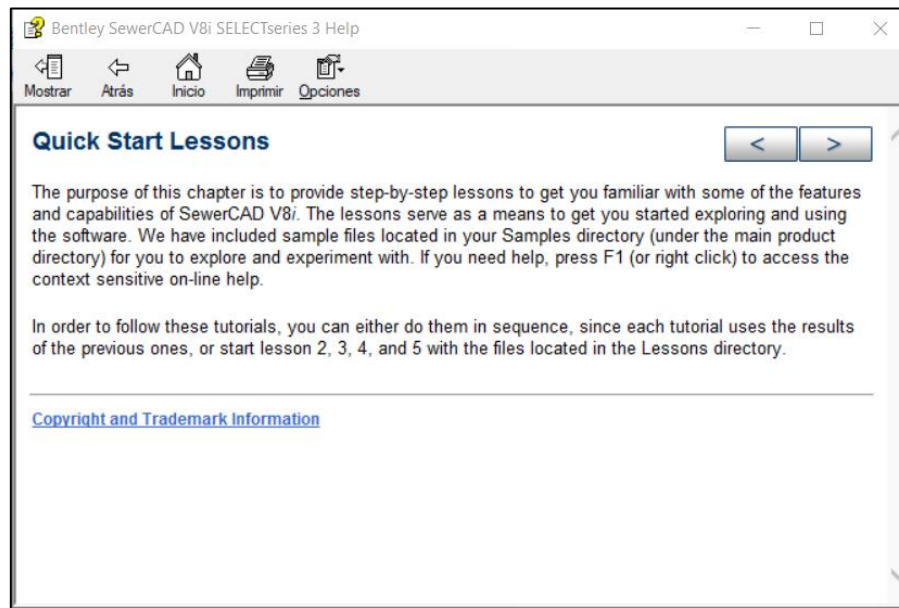


Ilustración 5-5, introducción de las lecciones rápidas de inicio

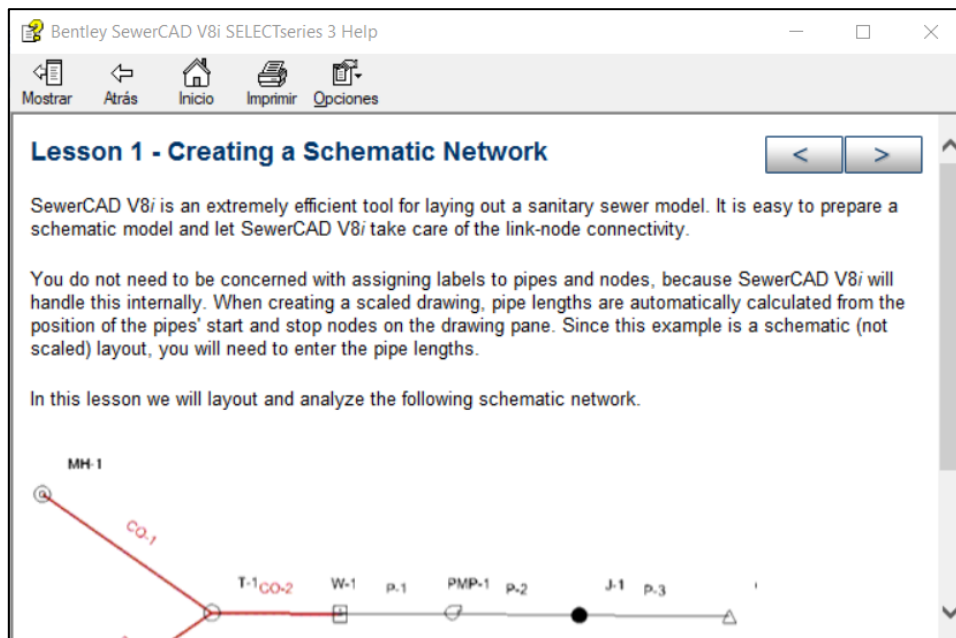


Ilustración 5-6, lección sobre cómo crear el esquema de una red



### Create New Project

Esta opción nos permite, como su nombre lo indica, crear desde cero un nuevo proyecto.

### Open Existing Project

Esta opción nos permite buscar y abrir un proyecto que ya tengamos guardado.

### NOTA IMPORTANTE

Es necesario mencionar que el alcance de este trabajo de graduación no incluye una descripción detallada de cada una de las herramientas que contienen los softwares usados para los análisis del prediseño y diseño de la red (Autodesk Civil 3D, Bentley SewerCad V8i SS3 y SewerCad Connect Edition respectivamente) por lo que se recomienda buscar fuentes adicionales para mejorar el uso y comprensión de las herramientas digitales.

Por lo antes expuesto, se describirá el uso de las herramientas utilizadas durante el proceso de análisis de la propuesta.

## Bentley SewerCad V8i SS3

Configuración y preparación del espacio de trabajo

Paso 1: Colocar las propiedades e información básica al proyecto, luego guardarlo (es necesario buscar la ubicación que tendrá nuestro proyecto dentro de nuestros documentos).

En la Ilustración 5-7 hasta la Ilustración 5-9 menú archivo>guardar como>, dar un nombre y ubicación del proyecto.

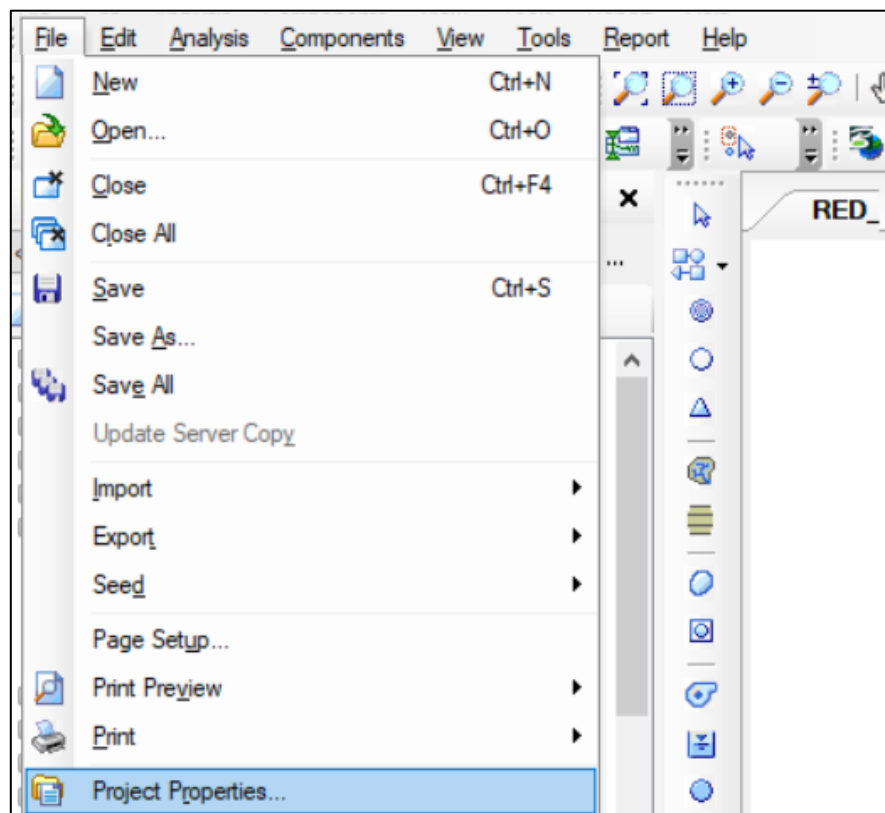


Ilustración 5-7, menú para ingresar las propiedades al proyecto

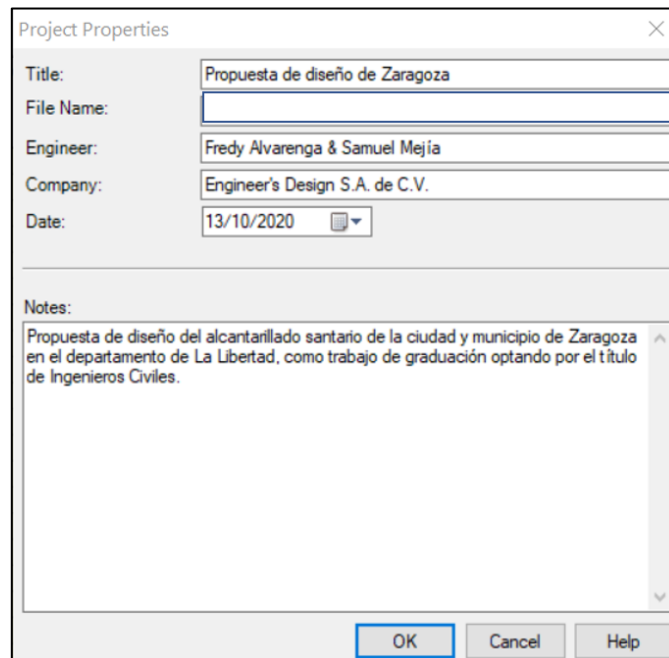


Ilustración 5-8, información básica del proyecto

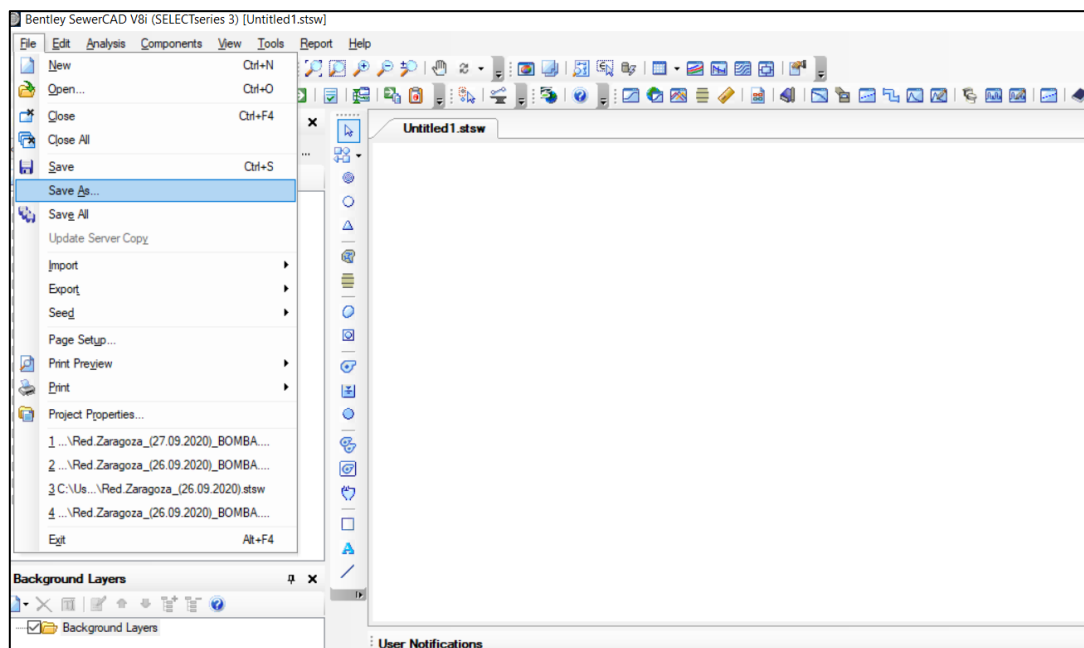


Ilustración 5-9, creación de un nuevo proyecto

Paso 2: Configurar las unidades del proyecto, en la Ilustración 5-10 se muestra la manera de hacerlo: menú herramientas (Tools)>Opciones.

En la Ilustración 5-11 se muestra la forma de elegir el sistema de unidades a utilizar en el proyecto, para facilitar los cálculos se ha utilizado el Sistema Internacional de medidas (SI), solamente se ha cambiado las unidades para el diámetro (de milímetros a pulgadas) como se muestra en la Ilustración 5-12, se ha hecho lo mismo para el caudal (de GPM a L/S) y la dotación.

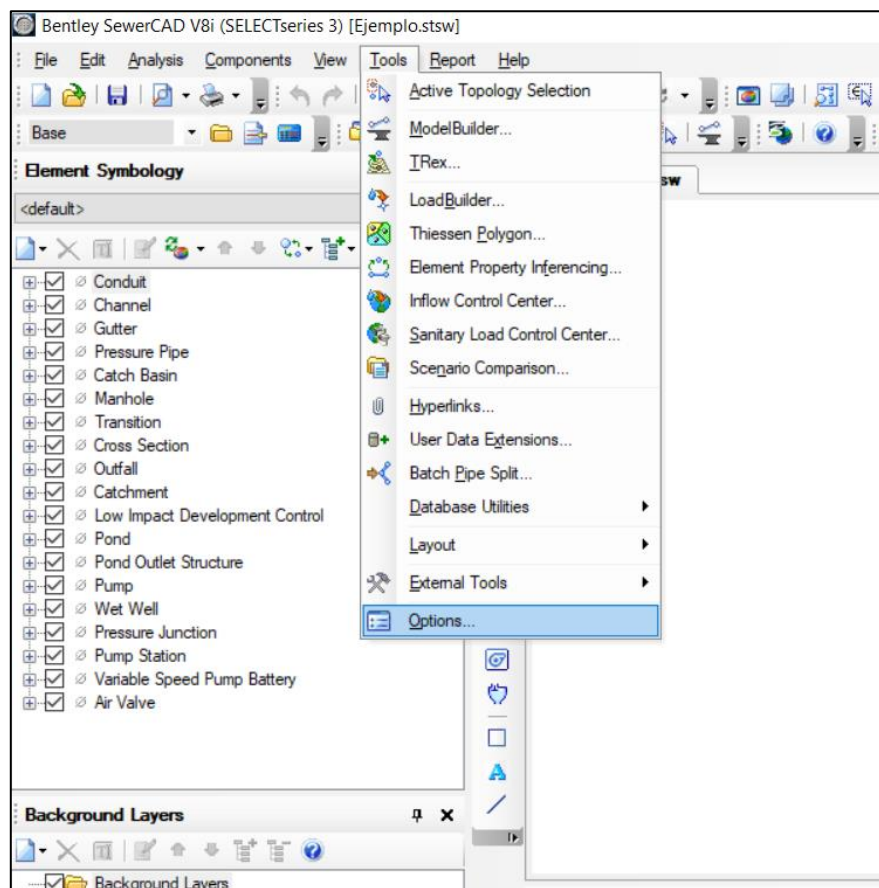


Ilustración 5-10, configuración de unidades de medida

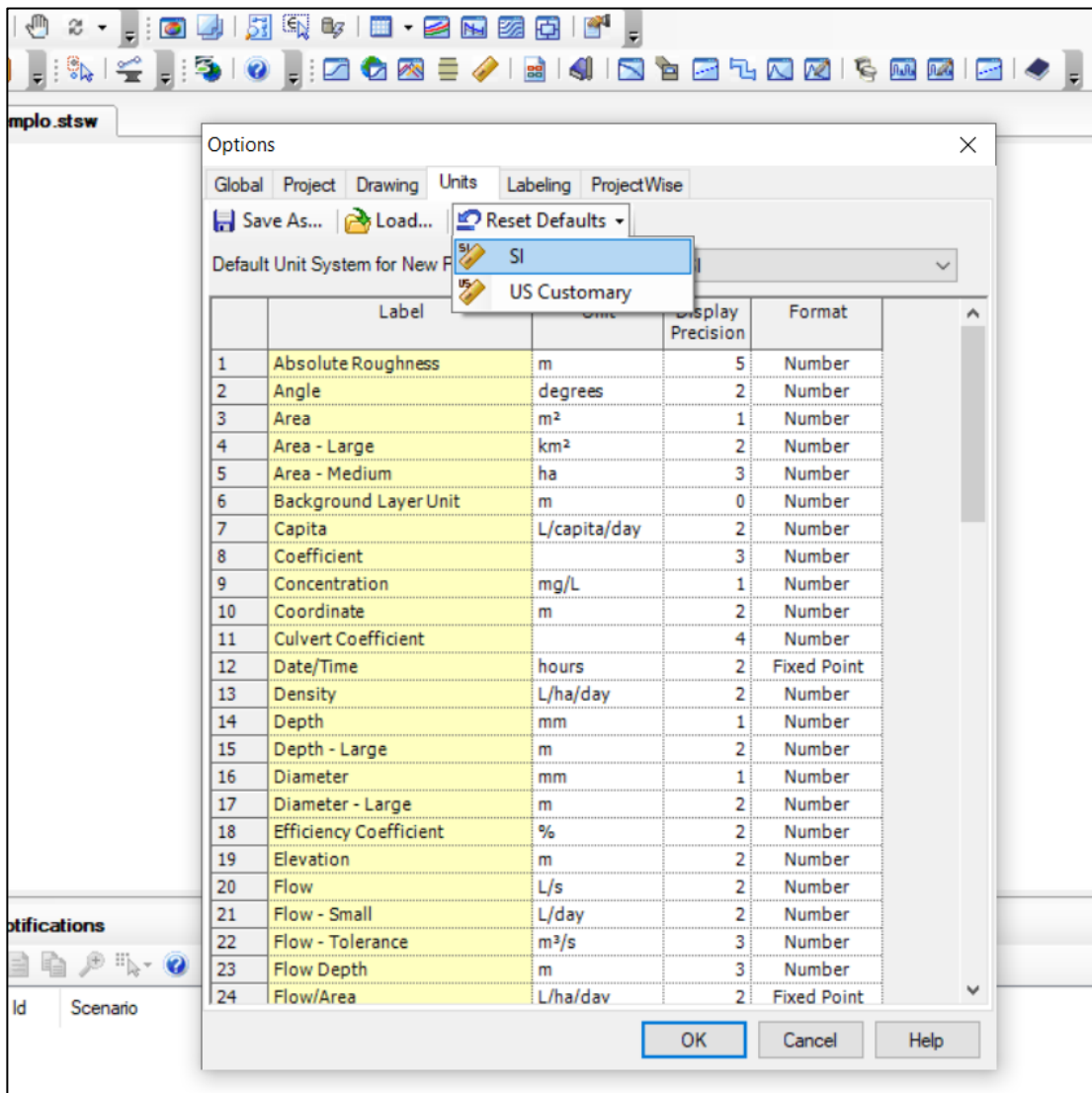


Ilustración 5-11, definición del sistema de unidades para el proyecto

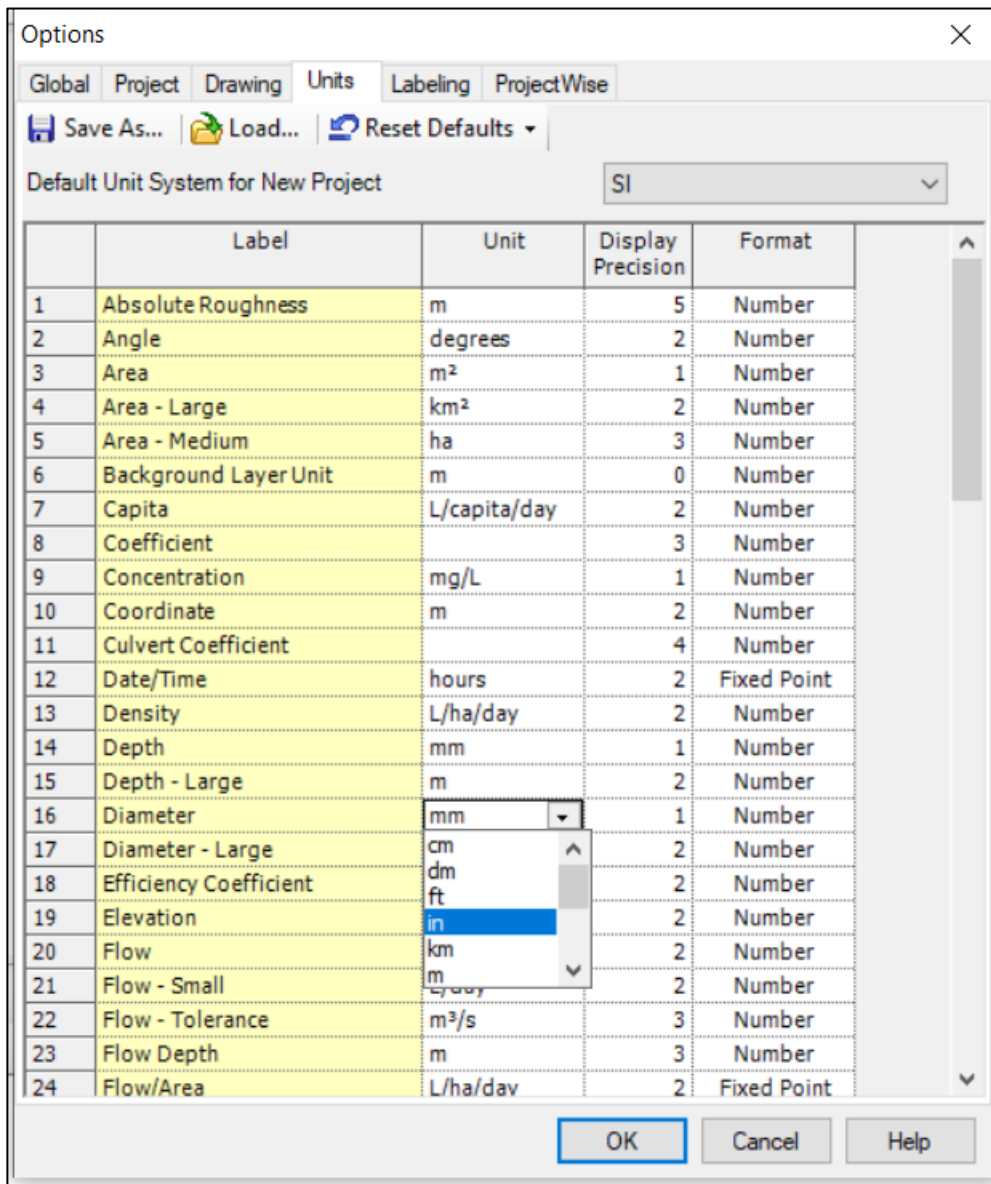


Ilustración 5-12, configuración de unidades del proyecto

### 5.1.2 Análisis

#### Paso 3: Configuración de propiedades desde el menú análisis

Para configurar el análisis para el diseño, primero es necesario crear alternativas, escenarios y métodos para el cálculo.

Alternativa nueva: clic a la opción de alternativas como se muestra en la Ilustración 5-13 , luego clic derecho para crear una nueva alternativa base (como se muestra en la Ilustración 5-14), una vez hecho lo anterior es necesario colocar un nombre a la alternativa, para este caso se ha nombrado «Diseño-prueba-01» tal como se muestra en la Ilustración 5-15.

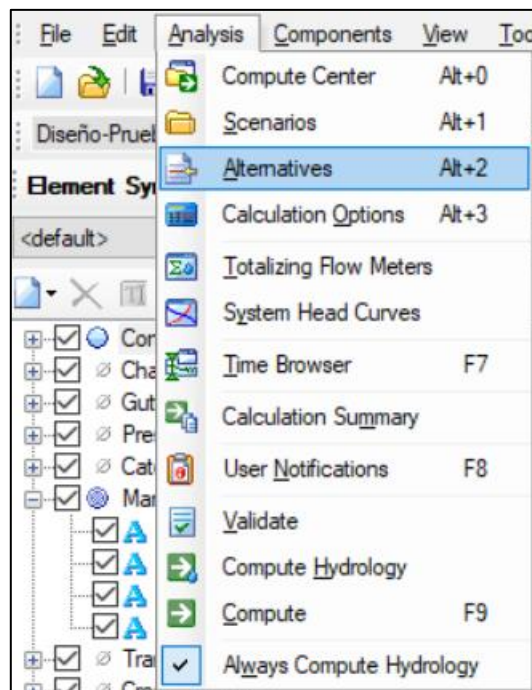


Ilustración 5-13, creación de una nueva alternativa

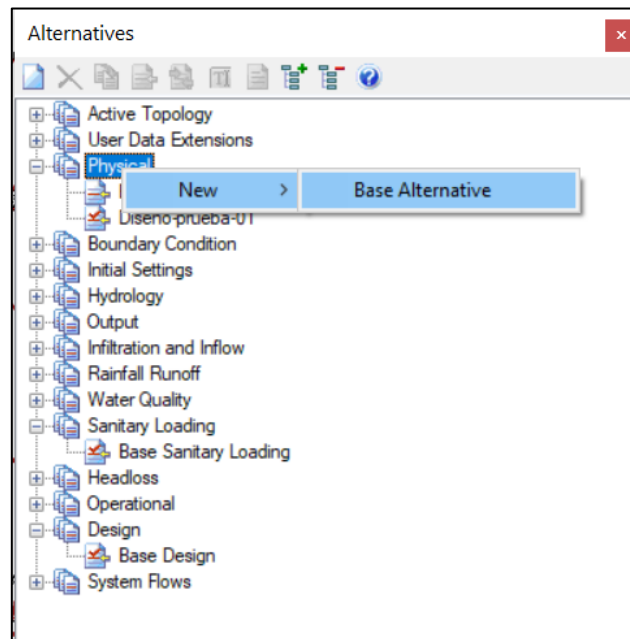


Ilustración 5-14, creación de una nueva alternativa

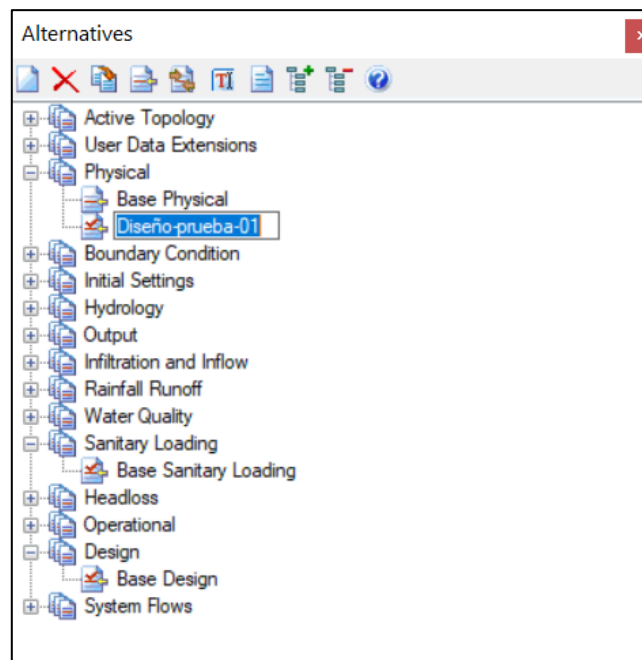


Ilustración 5-15, creación de nueva alternativa



#### Paso 4: Creación de escenario

Similar al paso 3, será necesario crear un nuevo escenario en donde se colocarán las propiedades físicas específicas para el proyecto

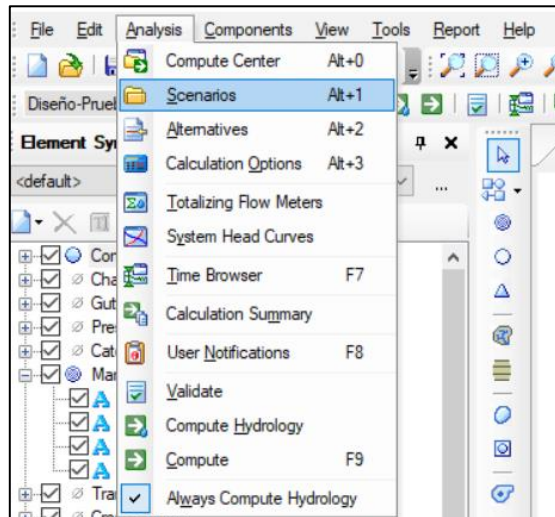


Ilustración 5-16, creación de un nuevo escenario

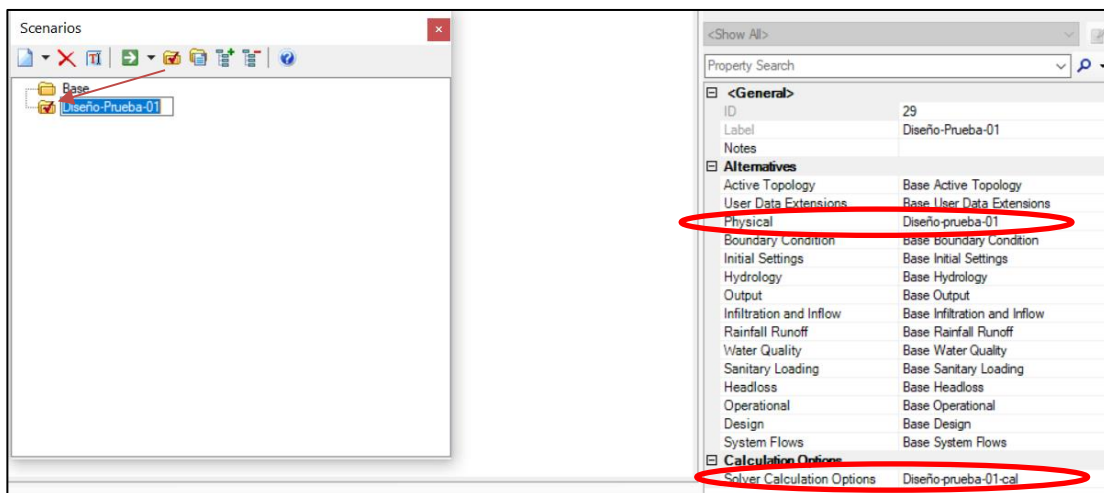


Ilustración 5-17, creación de un nuevo escenario (características)

En la Ilustración 5-17 es necesario resaltar que se encuentre activa la alternativa física creada anteriormente y colocar la opción de cálculo que haremos más adelante (será necesario regresar a los escenarios y modificar sus propiedades).

Es de suma importancia que el nuevo escenario sea elegido como activo, marcando el cheque de color rojo que aparece en las opciones (ver Ilustración 5-17

#### Paso 5: Creación de una nueva opción de cálculo

Para que el programa pueda ayudar con el diseño de la red será necesario definir algunas opciones para el cálculo.

Como en los pasos anteriores es necesario crear una opción de cálculo, para este caso fue llamada «Diseño-prueba-01-cal» ver Ilustración 5-18

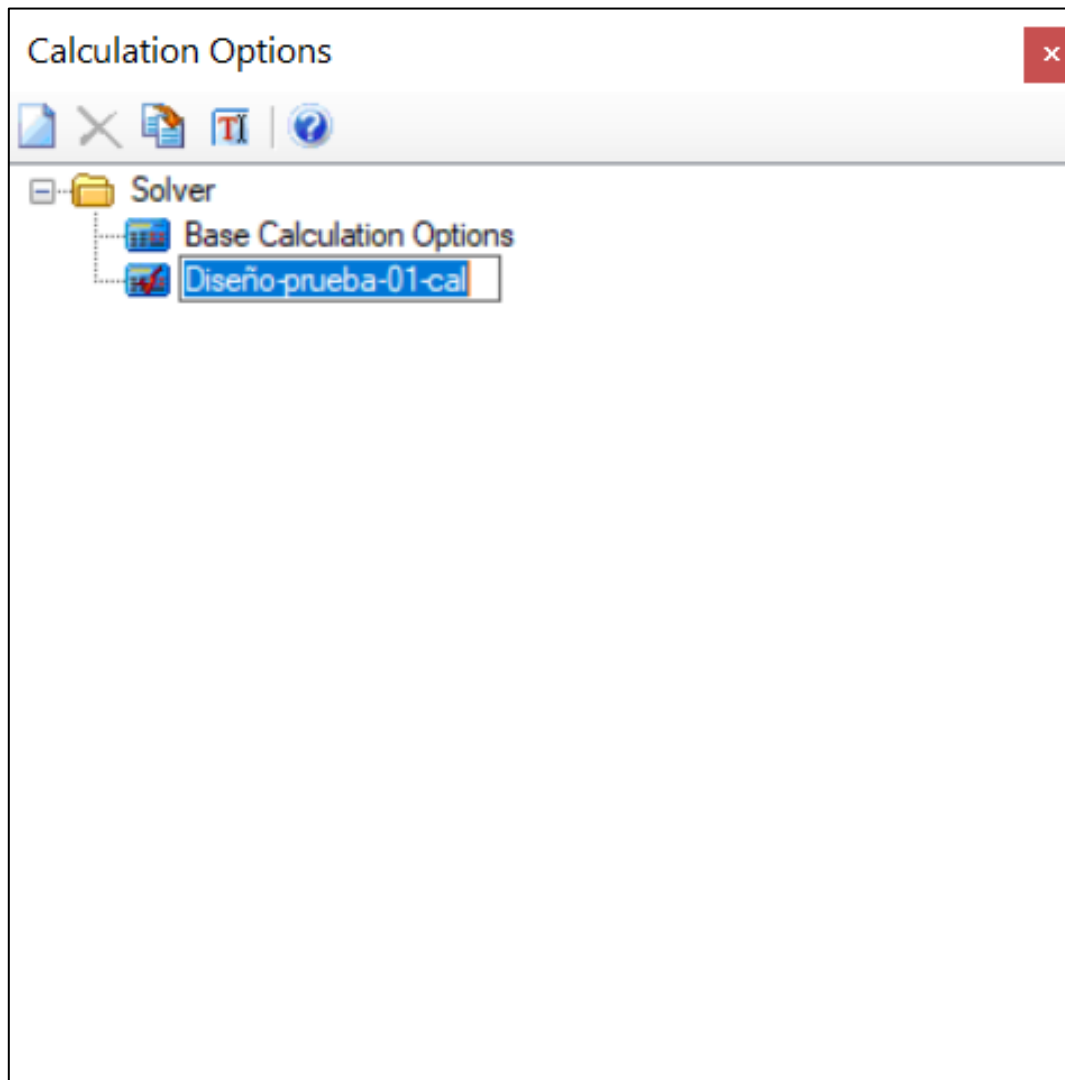
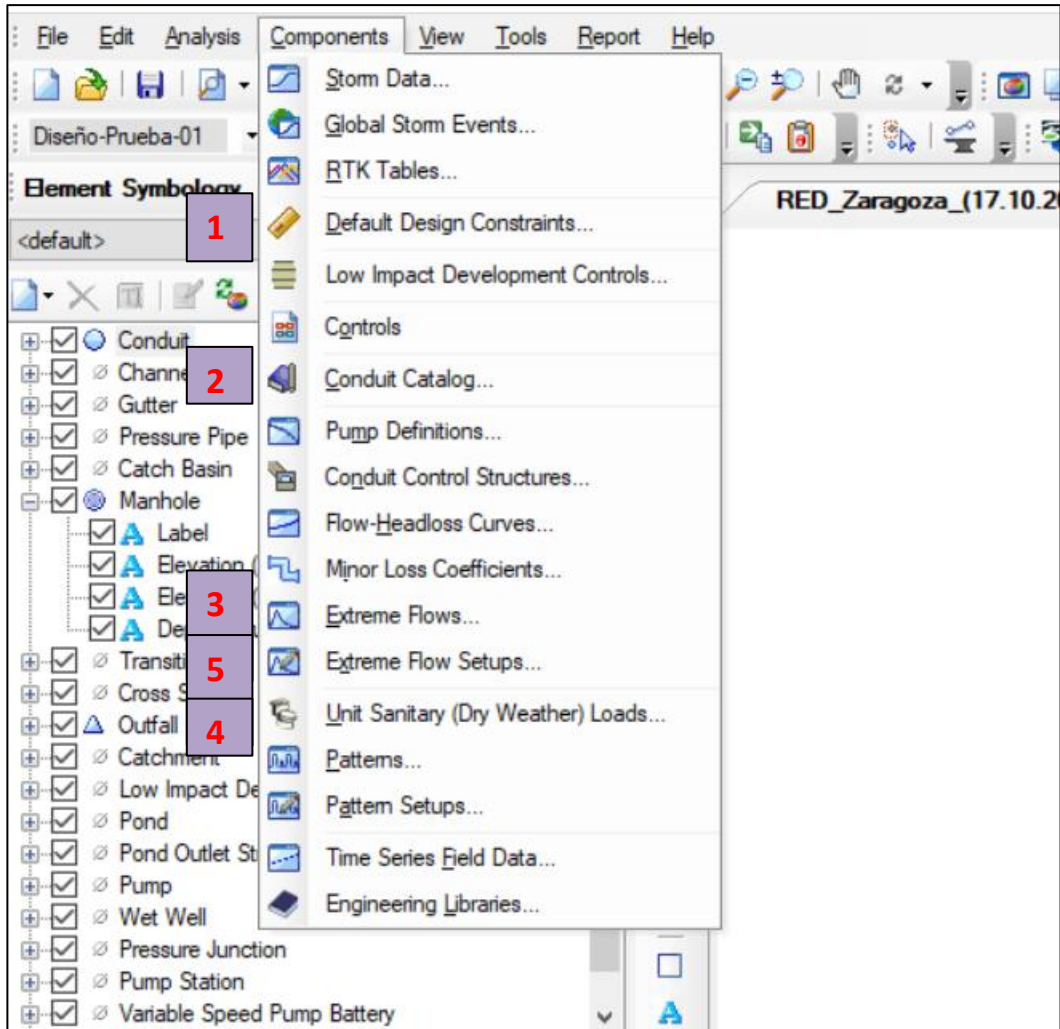


Ilustración 5-18, nueva opción de cálculo

### 5.1.3 Elementos (Componentes)

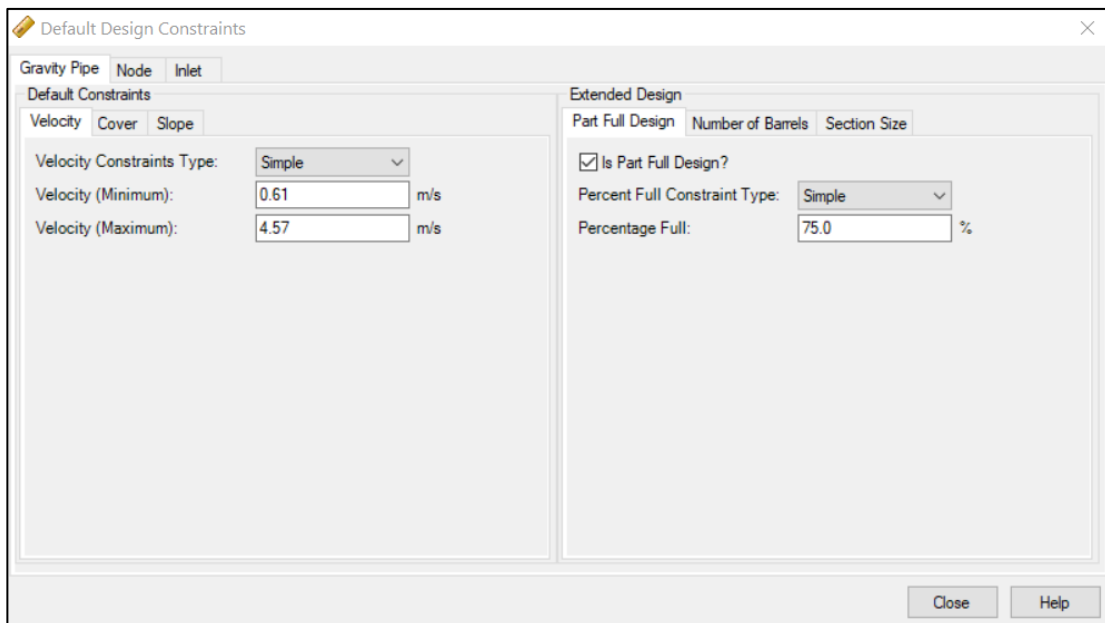


#### 1. Restricciones de diseño por defecto

Se deben colocar los parámetros de diseño que el software utilizará para hacer el diseño, entre estas restricciones tenemos:

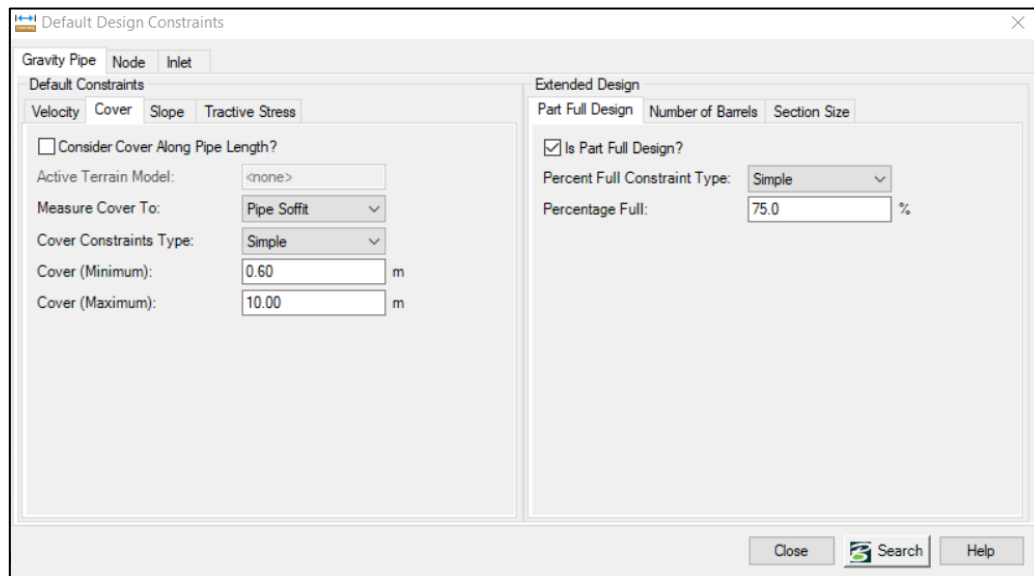
- Velocidad, se debe elegir la velocidad mínima y máxima permitida para que el programa utilice como parámetros para realizar el diseño

considerando los límites de velocidad, se utilizó como mínima una velocidad de 0.6 m/s y máxima 4.75 m/s para no llegar a los valores límites en la norma de ANDA, que son 0.5 m/s el mínimo, y 5.00 m/s el máximo para tuberías de PVC ver Ilustración 6-22



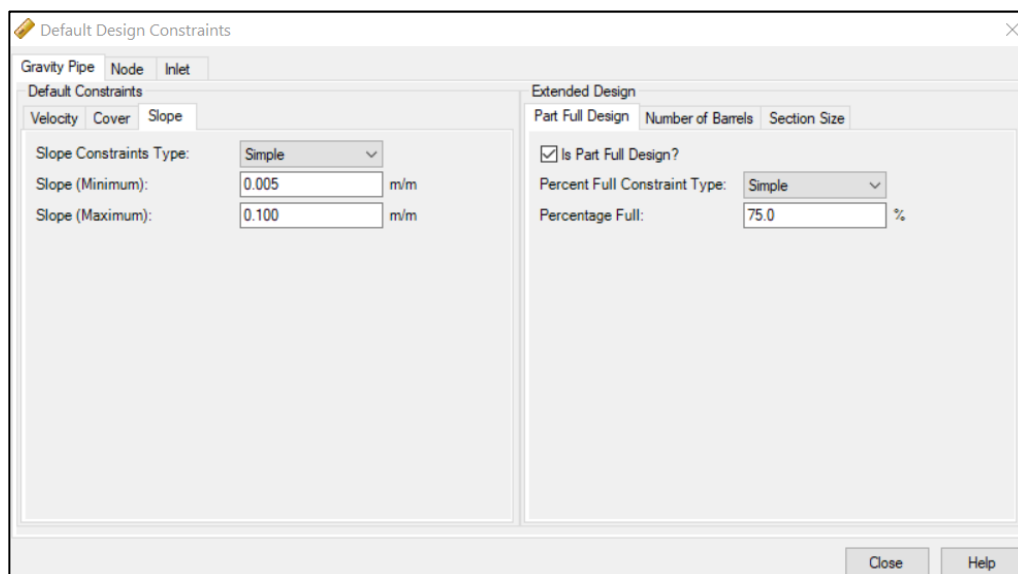
**Ilustración 5-19, velocidad y tirante de diseño**

- Profundidad: así como con la velocidad, se debe definir la profundidad mínima y máxima que permitiremos al programa para realizar el diseño ya que es una variable muy importante. Fue necesario permitir profundidades de hasta 10 metros debido a las características del proyecto, como se muestra en la Ilustración 5-20)



**Ilustración 5-20, profundidad máxima y mínima permitida para el diseño**

- Pendiente, la pendiente mínima y máxima utilizada es de 0.5% (0.005) y 10% (0.01) respectivamente (ver Ilustración 5-21)



**Ilustración 5-21, pendientes permitidas para el diseño**

## 2. Catálogo de tuberías

El software permite elegir los tipos de conductos para utilizar en el diseño del alcantarillado sanitario como se puede mostrar en la Ilustración 5-22 e Ilustración 5-23

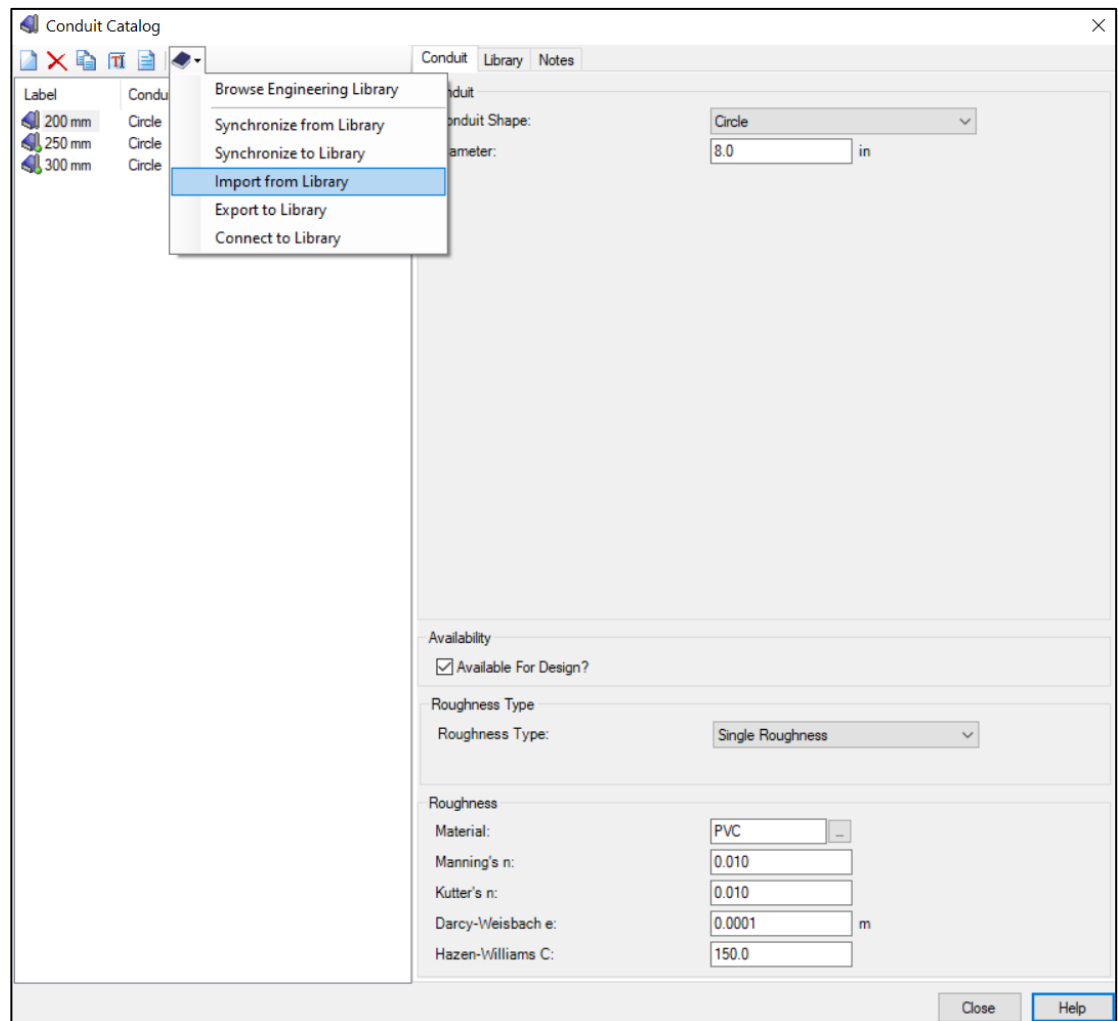
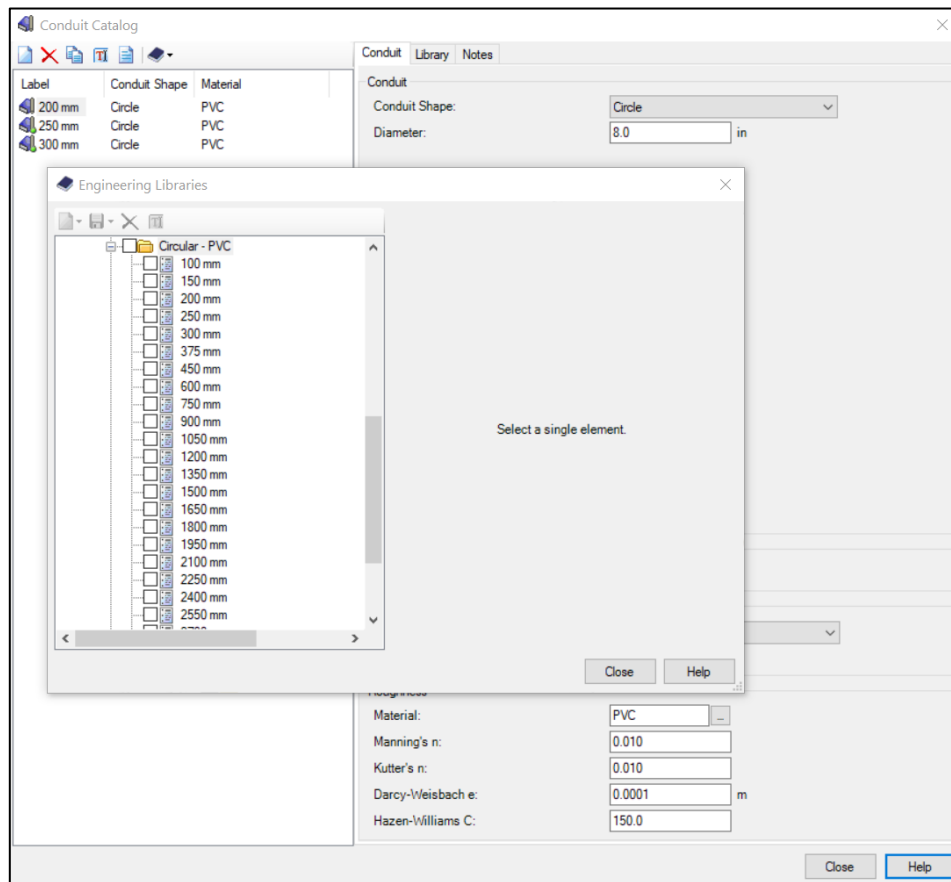


Ilustración 5-22, catálogo de conductos

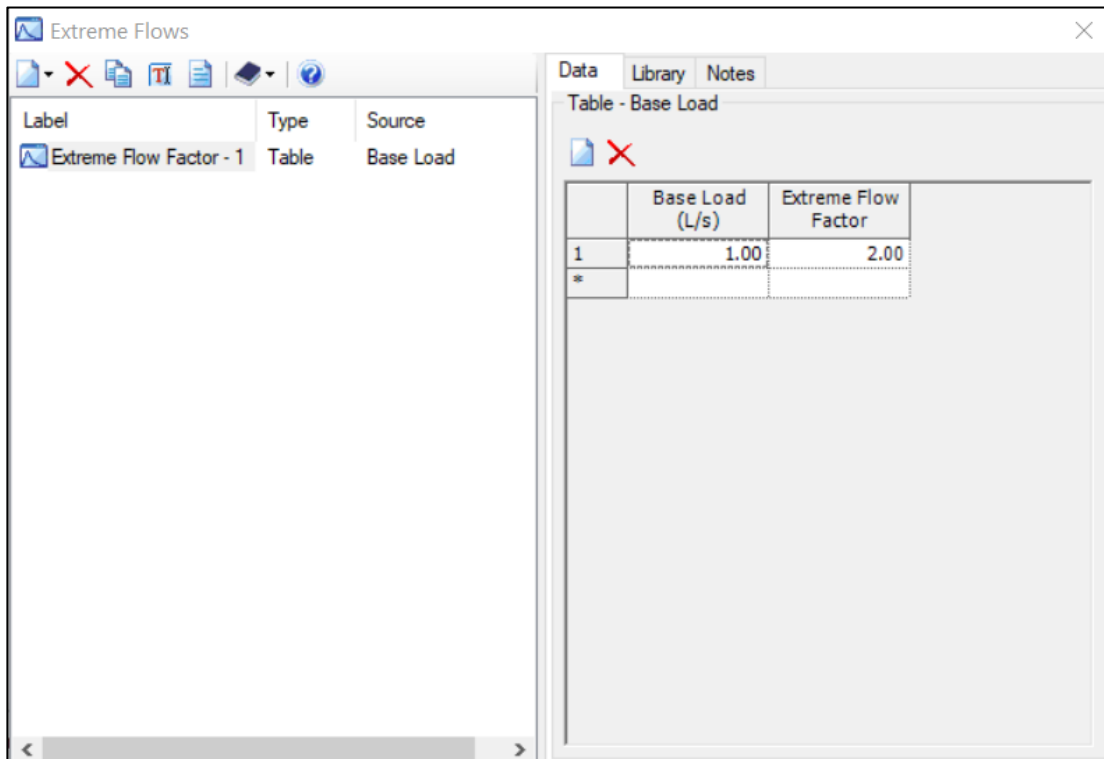


**Ilustración 5-23, tipos de conductos y sus diámetros según librería**

### 3. Flujos extremos (caudales máximos)

En esta sección se debe elegir la carga base, así como su factor  $K_2$ , utilizando los parámetros considerados en la norma de ANDA, se utilizará ( $K_2=2$ ) mientras que como carga base se utiliza normalmente uno ya que este valor afecta al diseño multiplicando las cargas unitarias en cada pozo, por lo tanto, se utilizará un valor de 1, ver Ilustración 5-24





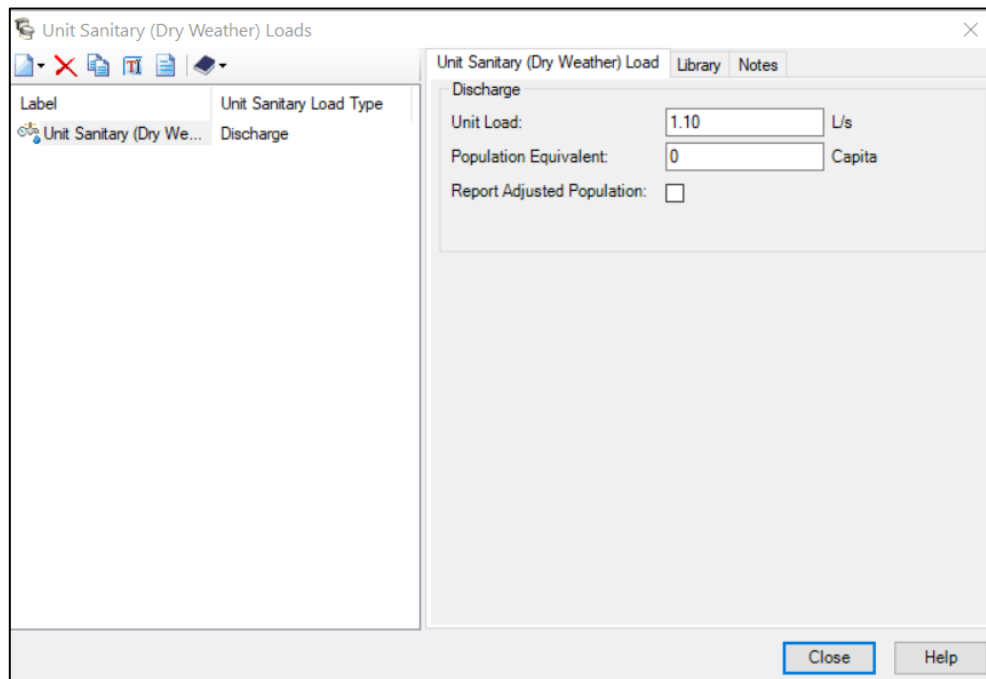
The screenshot shows the 'Extreme Flows' software interface. On the left, there is a table with columns 'Label', 'Type', and 'Source'. The first row is 'Extreme Flow Factor - 1', with 'Table' under 'Type' and 'Base Load' under 'Source'. On the right, there is a 'Table - Base Load' window with a table containing two columns: 'Base Load (L/s)' and 'Extreme Flow Factor'. The first row has values '1' and '2.00', and the second row has an asterisk '\*' and is empty.

	Base Load (L/s)	Extreme Flow Factor
1	1.00	2.00
*		

Ilustración 5-24, factores de flujo en los pozos de la red

#### 4. Unidad de carga sanitaria en época seca

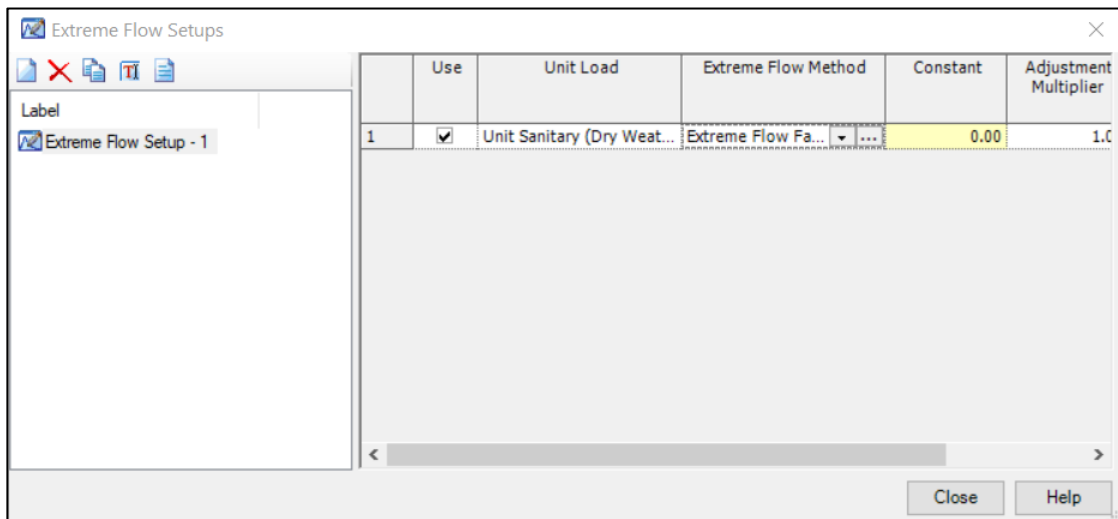
Como ya se ha mencionado con anterioridad, los valores de las cargas unitarias se ven afectados directamente por los factores de las cargas unitarias, al considerar un 10% del caudal (según las normas técnicas de ANDA) el factor multiplicativo para periodo seco se considerará 1.10 como se muestra en la Ilustración 5-25



**Ilustración 5-25, cargas unitarias en temporada seca**

##### 5. Configuración de flujos extremos (caudales máximos)

En este punto es necesario indicar al programa los elementos previamente creados para el cálculo de los flujos, como se muestra en la Ilustración 5-26, donde se ha elegido utilizar las cargas unitarias para temporada seca y el factor utilizado para el cálculo del caudal máximo que afectará a la red.



**Ilustración 5-26, configuración de los flujos extremos**

Una vez se han creado y configurado los valores y parámetros anteriores es necesario volver a la sección “análisis” y configurar el método de cálculo a utilizar en el diseño, agregando los elementos que se acaban de crear, como se muestra en la Ilustración 5-27.

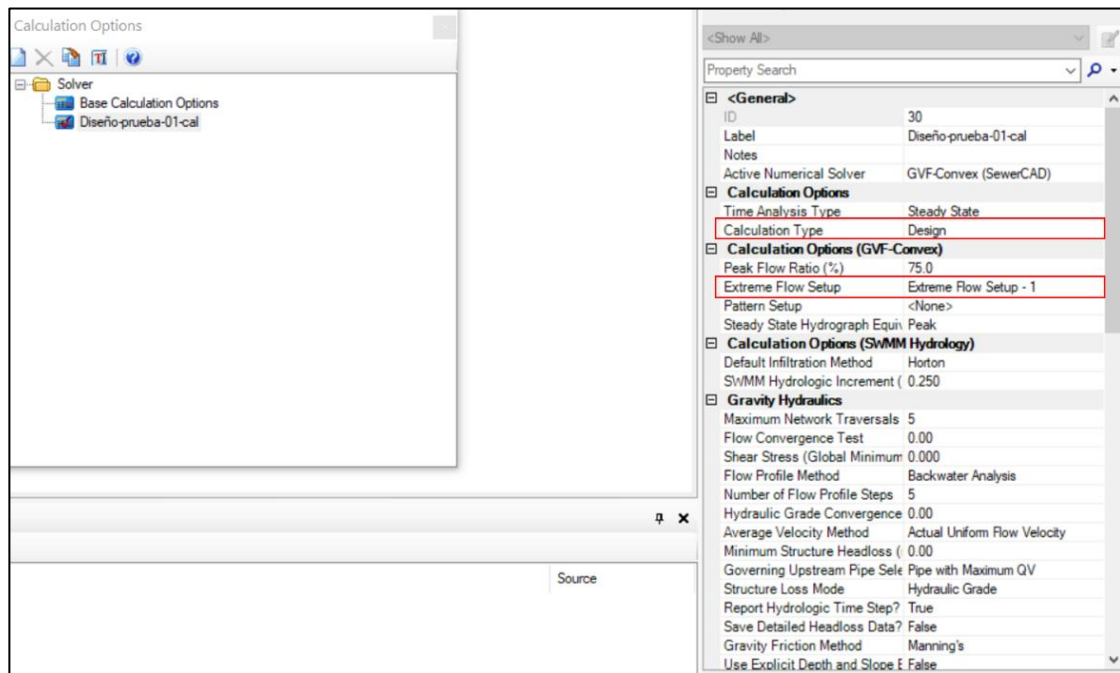
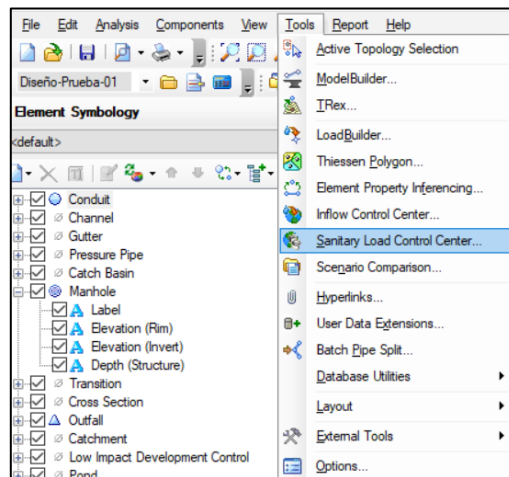


Ilustración 5-27, opción en el método de cálculo

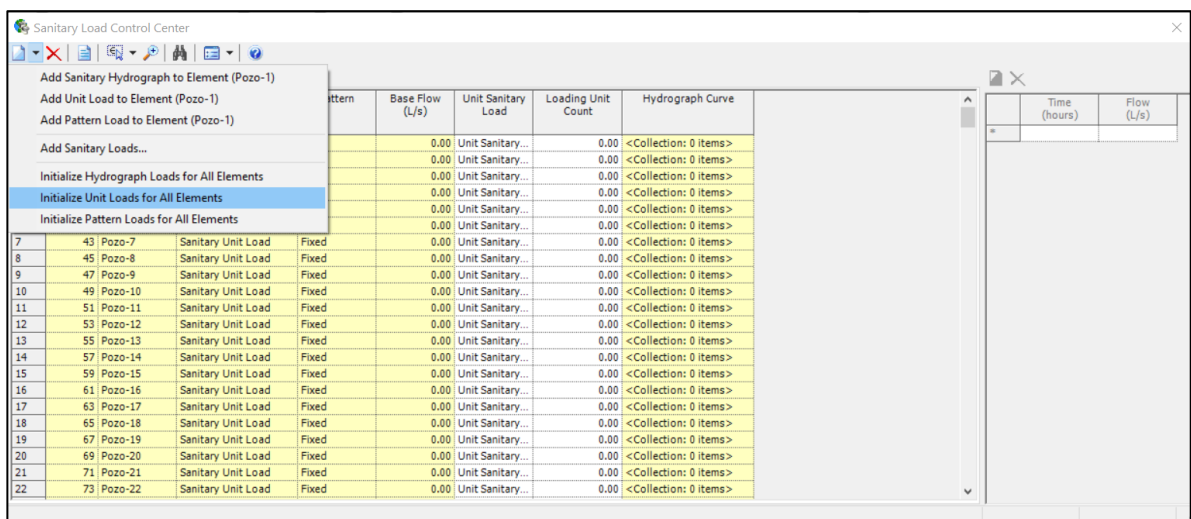
#### 5.1.4 Herramientas

En este punto del diseño se utiliza el menú herramientas «Tool» para poder acceder a la opción «Centro de control de cargas unitarias»<sup>10</sup> como se muestra en la Ilustración 5-28 e Ilustración 5-29

<sup>10</sup> Sanitary Load Control Center, esta opción se utilizará hasta que toda la red ya haya sido dibujada y se haya cargado la información básica del terreno (ver más adelante)



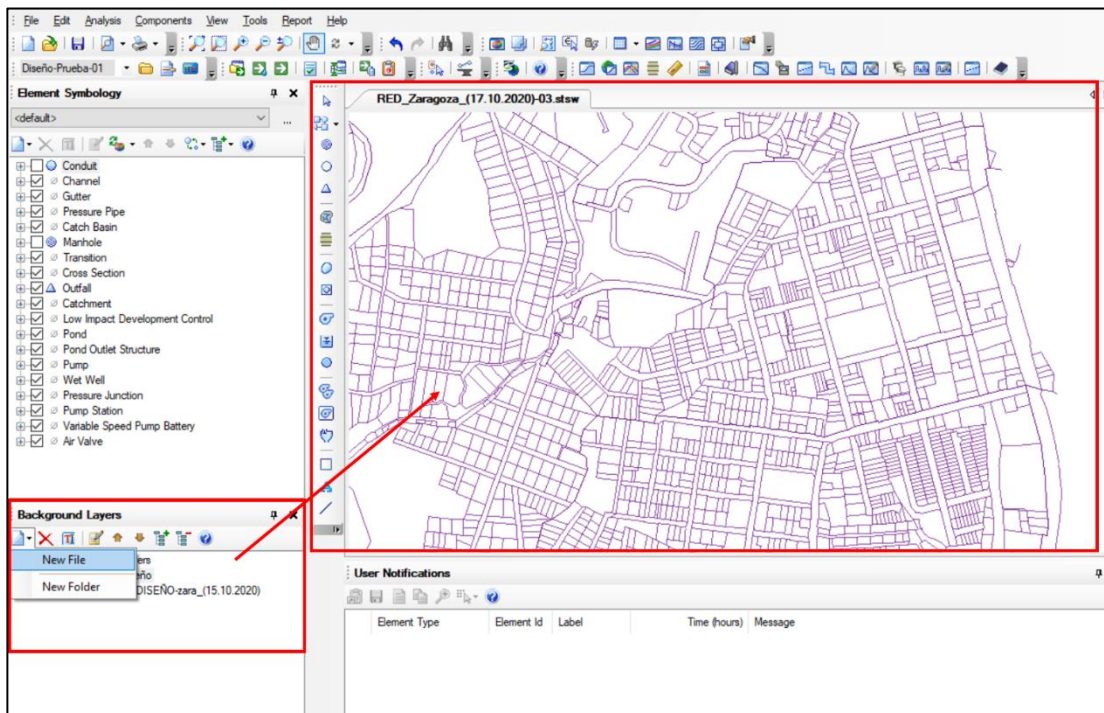
**Ilustración 5-28, uso del Centro de Control de Cargas Sanitarias**



**Ilustración 5-29, Inicializar cargas unitarias para todos los elementos**

Para iniciar el modelado de la red, es necesario importar la imagen<sup>11</sup> que servirá de fondo sobre el cual se ira colocando los elementos que conformaran la red como se muestra en la Ilustración 5-30.

<sup>11</sup> Se utiliza la palabra «imagen» sin embargo se ha referencia a un archivo en formato DXF que al colocarlo como fondo funciona como una imagen de referencia para colocar los elementos de la red.



**Ilustración 5-30, imagen de fondo como guía para modelar la red**

En la Ilustración 5-31 se muestra la herramienta para dar inicio al modelado de la red, colocando el lugar donde se ubicarán los pozos, mientras que las tuberías son colocadas automáticamente por el programa.

Para mejorar y facilitar la comprensión de la información se recomienda agregar etiquetas con información adicional a la que viene por defecto, como se muestra en la Ilustración 5-32

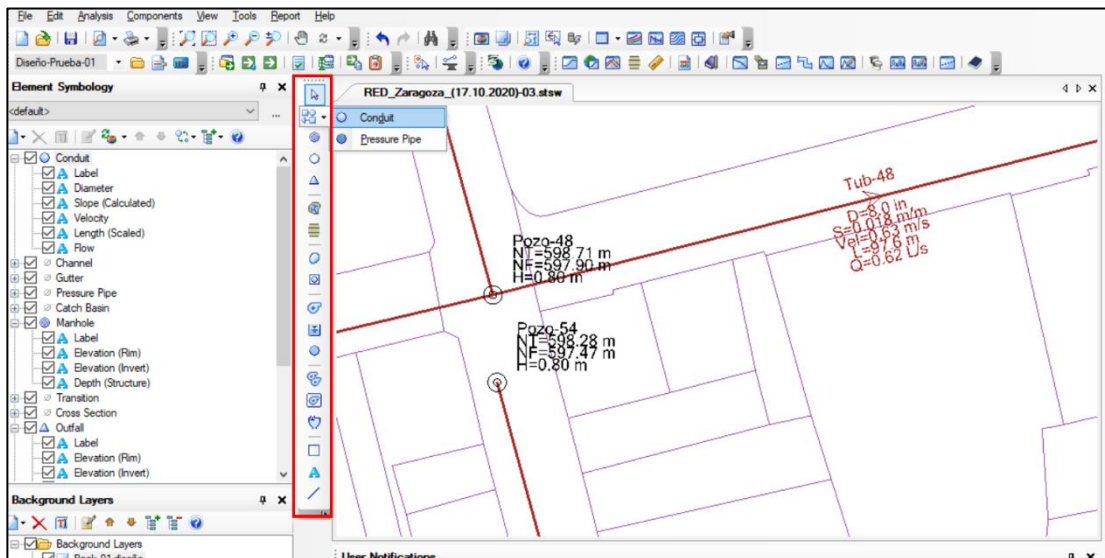


Ilustración 5-31, espacio de trabajo para el diseño de la red

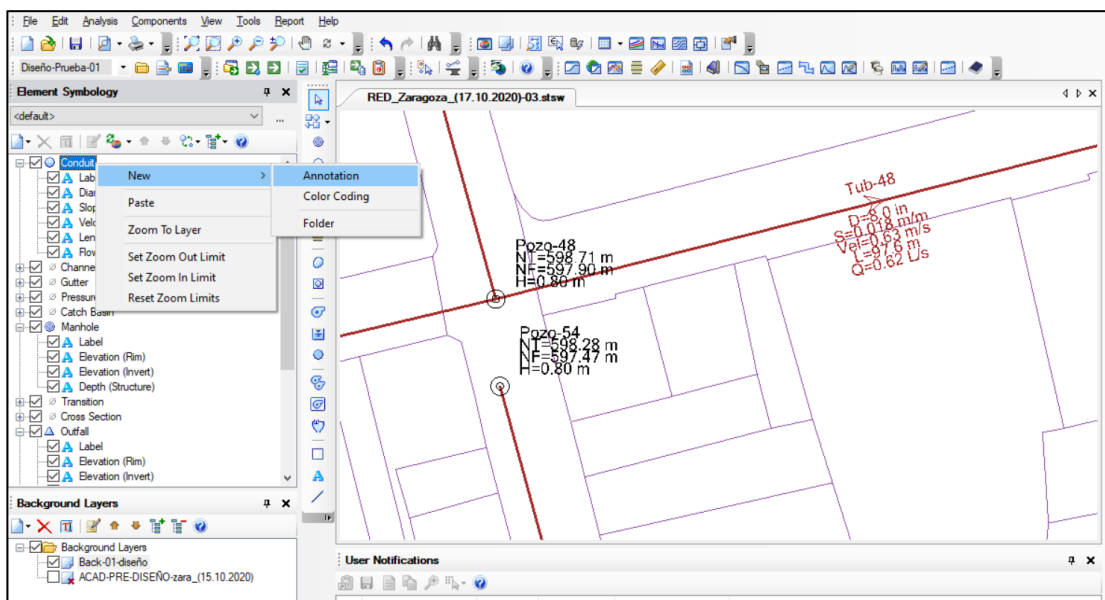


Ilustración 5-32, creación de etiquetas para pozos y tuberías

Cuando la red ha sido dibujada según el prediseño (Ilustración 5-33) se procede a colocar la información física al escenario de la siguiente manera:

- Curvas de nivel:

En el menú herramientas «Tool» y haciendo uso de la opción «Trex» como se muestra en la Ilustración 5-34.

En la Ilustración 5-35 se muestra la configuración para el ingreso de las curvas del nivel (es necesario que la fuente de información sea un archivo en formato DXF y debe contener únicamente las curvas de nivel de la superficie)

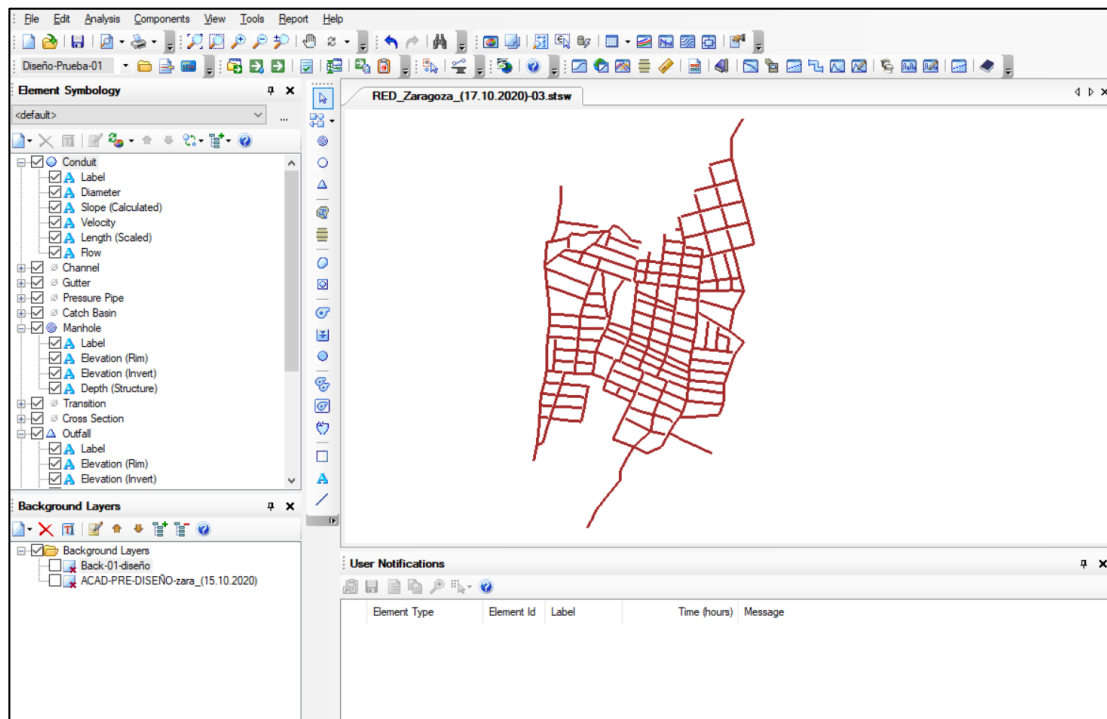


Ilustración 5-33, dibujo de la red en SewerCad V8i SS3



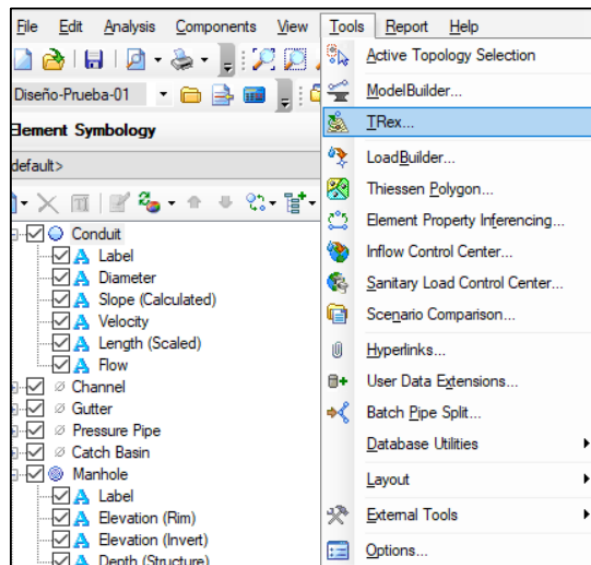


Ilustración 5-34, menú para colocar información del terreno a la propuesta de diseño

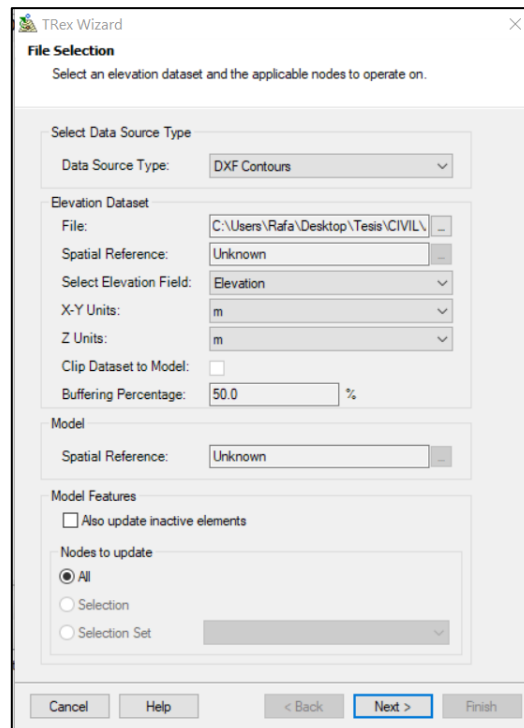
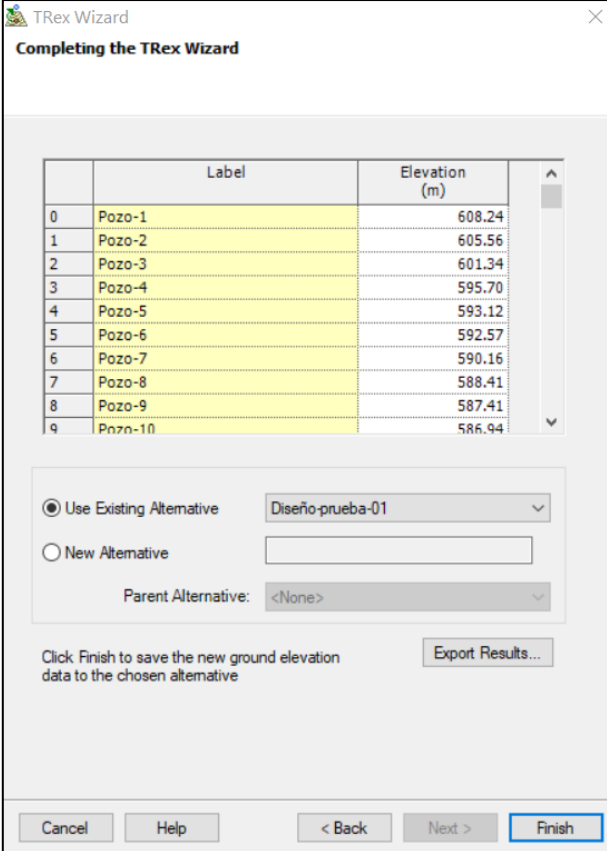


Ilustración 5-35, parámetros para el ingreso de las curvas de nivel

Una vez realizado lo anterior, se continúa dando clic al botón «Next», inmediatamente se puede ver que el software coloca las elevaciones a cada uno de los pozos dibujados; es muy importante que la información ingresada se agregue a la alternativa que creamos al inicio, para este caso «Diseño-prueba-01» al dar clic en finalizar la red ya contará con las elevaciones de tapa para los pozos.



	Label	Elevation (m)
0	Pozo-1	608.24
1	Pozo-2	605.56
2	Pozo-3	601.34
3	Pozo-4	595.70
4	Pozo-5	593.12
5	Pozo-6	592.57
6	Pozo-7	590.16
7	Pozo-8	588.41
8	Pozo-9	587.41
9	Pozo-10	586.94

Use Existing Alternative Diseño-prueba-01

New Alternative

Parent Alternative: <None>

Click Finish to save the new ground elevation data to the chosen alternative Export Results...

Cancel Help < Back Next > Finish

**Ilustración 5-36, introducción de la información del terreno**

Después de realizado lo anterior es necesario colocar las cargas unitarias a cada pozo como se muestra en la sección 5.1.4 de este documento

### 5.1.5 Flex Tables

El uso de las tablas flexibles o dinámicas ayuda al momento de ingresar la información física del proyecto como se muestra en la Ilustración 5-37 a Ilustración 5-39

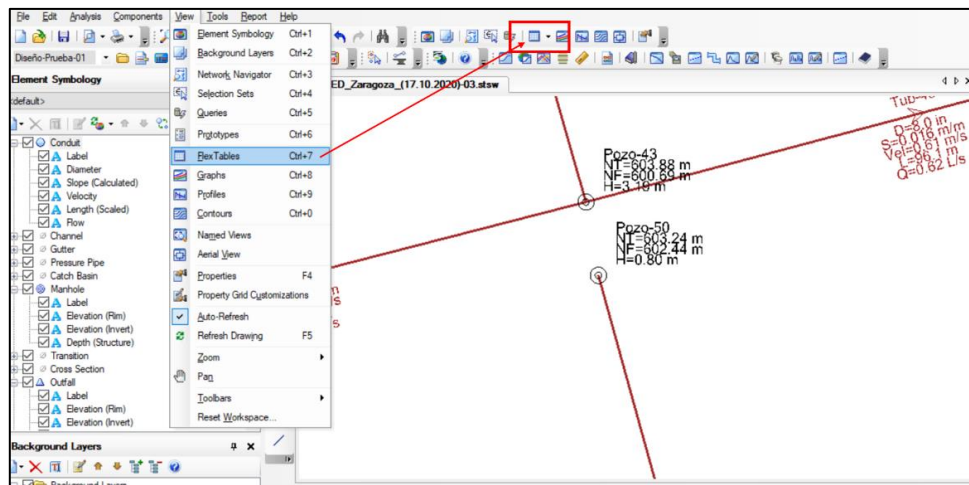


Ilustración 5-37, localización de la herramienta «Flex Table»

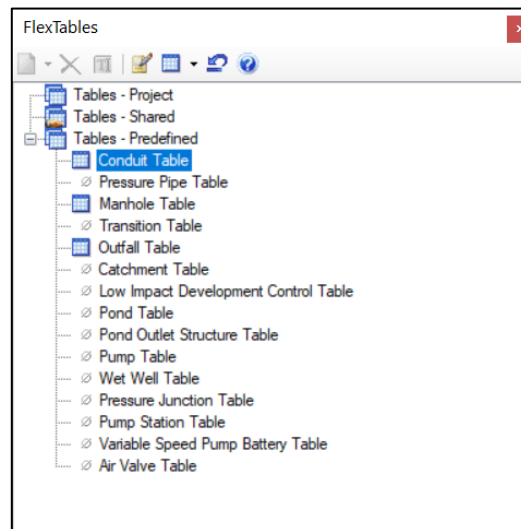


Ilustración 5-38, elección de los elementos que mostrará la tabla

	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Design Conduit?	Material	Conduit Type	Section Type	Section Size (Catalog Conduit)	Diameter (in)	Manning's n	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Flow (Additional Infiltration) (L/s)
34: Tub-1	0.83	0.87	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	91.59	1.0	
36: Tub-2	1.66	0.87	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	66.87	2.7	
38: Tub-3	2.91	1.28	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	90.97	3.5	
40: Tub-4	4.16	1.32	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	81.38	5.6	
42: Tub-5	4.36	0.77	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	37.52	12.8	
44: Tub-6	5.40	1.57	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	93.87	6.3	
46: Tub-7	5.61	1.69	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	102.21	6.0	
48: Tub-8	7.27	0.85	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	22.8	
50: Tub-9	7.48	2.31	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	140.94	5.8	
52: Tub-10	8.73	1.60	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	78.40	12.2	
54: Tub-11	9.35	1.66	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	80.74	12.7	
56: Tub-12	10.18	1.23	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	51.17	21.8	
58: Tub-13	10.39	2.19	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	114.02	10.0	
60: Tub-14	10.60	1.74	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	81.72	14.2	
62: Tub-15	10.81	1.91	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	92.29	12.8	
64: Tub-16	11.01	1.69	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	77.29	15.6	
66: Tub-17	11.22	0.96	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	35.2	
68: Tub-18	11.43	0.96	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	35.9	
70: Tub-19	11.64	0.97	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	36.5	
72: Tub-20	11.84	0.97	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	37.2	
74: Tub-21	12.05	2.52	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	130.61	10.1	
76: Tub-22	12.26	2.43	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	123.45	10.9	
78: Tub-23	25.14	1.17	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	78.9	
80: Tub-24	25.35	1.17	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	34.95	79.6	
82: Tub-25	26.18	2.65	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	103.13	27.8	
84: Tub-26	26.39	3.34	✓	PVC	Catalog Con...	Circle	200 mm	8.0	0.009	141.98	20.4	

Ilustración 5-39, ejemplo de tabla (Flex Table)

En la Ilustración 5-39 se muestra la información que es fundamental para el diseño de proyecto.

- En la columna «Design Conduit» debe estar marcada la selección, de esta manera se le está diciendo al programa que la tubería también debe de ser diseñada.
- En la columna «Material» se deberá elegir el material de diseño para la red, en este caso es PVC
- Para «Conduit Type» se debe colocar el catálogo que creamos anteriormente, de esta manera el programa buscará los elementos que se eligieron para formar parte del diseño

- En la columna «Sección Type» se debe colocar la forma que tendrá la tubería, en este caso serán tubos circulares.
- En la columna «Section Size» se debe colocar el menor diámetro del catálogo para que el programa pueda proponer diámetros según el análisis
- Finalmente se coloca el coeficiente de Manning

Una vez se ha ingresado toda la información física al programa, es momento de hacer una revisión para corroborar que se ha ingresado toda la información necesaria, para ello en el menú «Analysis» se busca la opción «Validate» como se muestra en la Ilustración 5-40, si todo está bien y el programa no encuentra ningún problema con la información física ingresada, aparecerá un notificando que no se encontraron problemas.

Finalmente, se da inicio al diseño de la red con la opción «Compute» en el menú análisis (ver Ilustración 5-40). Una vez que el programa termina de hacer el cálculo se muestra el mensaje de la

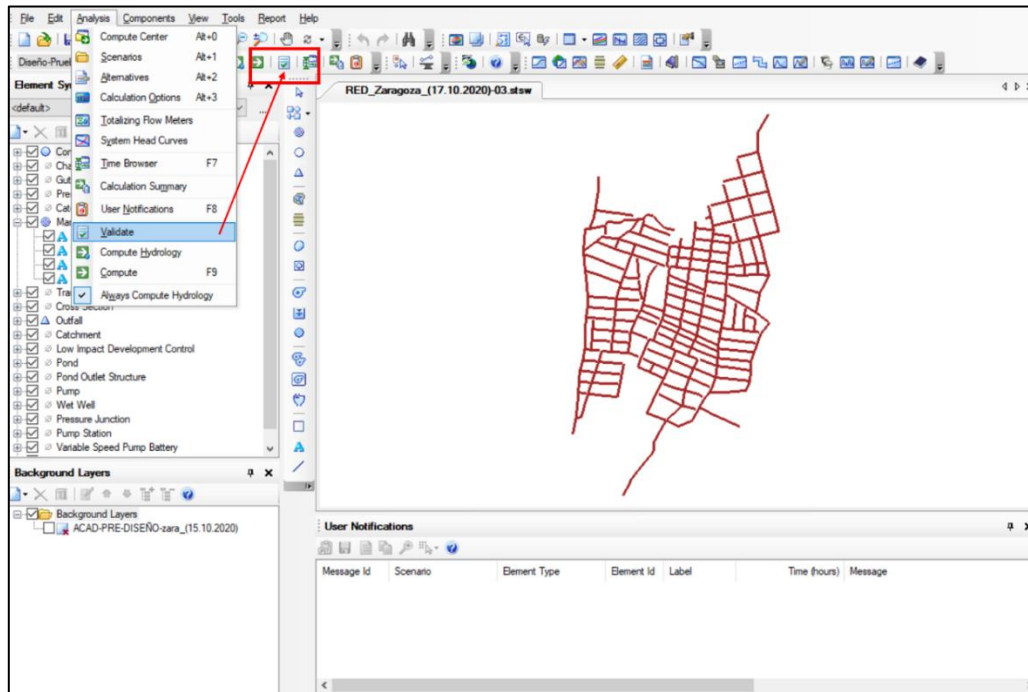


Ilustración 5-40, validación de los datos ingresados al proyecto y cálculo

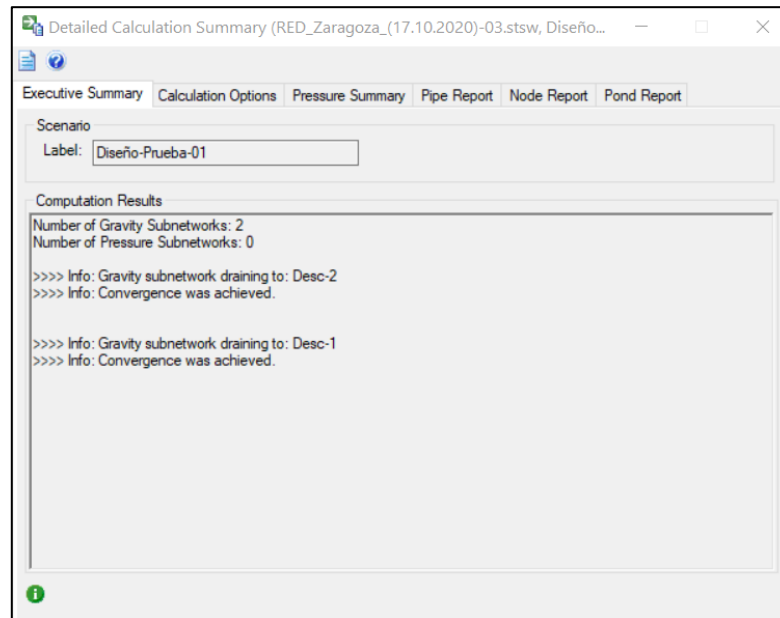


Ilustración 5-41, detalle del diseño de la red

### 5.1.6 Presentación de resultados

Una vez que se han realizado los pasos descritos anteriormente se puede acceder a las tablas con los resultados en la opción «Flex Tables», como se muestran en la Tabla 10-3 y Tabla 10-4 en los anexos

#### 5.1.6.1 Tuberías

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10-4, se puede apreciar que se cumple con los valores mínimos y máximos permitidos por la norma de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA)

### 5.1.7 Verificación de resultados

El proceso de cálculo para la velocidad se puede realizar por métodos empíricos, se comprobará utilizando el software HCANALES para 5 tramos de tubería al azar.

**Tabla 5-1, resultados para el tramo 1 de tubería**

Label	Start Node	Stop Node	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Material	Diameter (in)	Manning's n
Tub-1	Pozo-1	Pozo-2	93.1	0.034	0.83	0.87	PVC	8	0.009

Se utilizará los valores de pendiente, caudal, diámetro y coeficiente de Manning para calcular la velocidad mediante HCANALES, tal como se puede

ver en la Ilustración 5-42 los resultados obtenidos coinciden con los resultados del SEWERCAD.

Cálculo del tirante normal, sección circular

Lugar:  Proyecto:   
 Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
 Diámetro (d):  m  
 Rugosidad (n):   
 Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m  
 Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>  
 Espejo de agua (T):  m  
 Número de Froude (F):   
 Tipo de flujo:

Perímetro mojado (p):  m  
 Radio hidráulico (R):  m  
 Velocidad (v):  m/s  
 Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Ejecuta las operaciones 20:46 26/10/2020

Ilustración 5-42, resultado para el tramo 1 utilizando HCANALES

Tabla 5-2, comprobación para el tramo 22 de tubería

Label	Start Node	Stop Node	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Material	Diameter (in)	Manning's n
Tub-22	Pozo-22	Pozo-23	83.8	0.062	12.26	2.43	PVC	8	0.009



Cálculo del tirante normal, sección circular

Lugar:  Proyecto:   
Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
Diámetro (d):  m  
Rugosidad (n):   
Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m  
Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>  
Espejo de agua (T):  m  
Número de Froude (F):   
Tipo de flujo:

Perímetro mojado (p):  m  
Radio hidráulico (R):  m  
Velocidad (v):  m/s  
Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Ejecuta las operaciones 21:02 26/10/2020

Ilustración 5-43, cálculo de la velocidad para el tramo 22 utilizando HCANALES

Tabla 5-3, resultados para el tramo 365 de la red


Label	Start Node	Stop Node	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Flow (L/s)	Velocity (m/s)	Material	Diameter (in)	Manning's n
Tub-365	Pozo-365	Pozo-364	46.9	0.084	0.21	0.79	PVC	8	0.009

Cálculo del tirante normal, sección circular

Lugar:  Proyecto:   
Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q):  m<sup>3</sup>/s  
Diámetro (d):  m  
Rugosidad (n):   
Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m  
Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>  
Espejo de agua (T):  m  
Número de Froude (F):   
Tipo de flujo: **Supercrítico**

Perímetro mojado (p):  m  
Radio hidráulico (R):  m  
Velocidad (v):  m/s  
Energía específica (E):  m·Kg/Kg

Limpia la pantalla para realizar nuevos cálculos 21:22 26/10/2020

**Ilustración 5-44, resultado para la velocidad del tramo 365 utilizando HCANALES**

Con lo anterior se ha comprobado que el resultado utilizando los métodos convencionales y el uso de softwares especializados para el diseño de redes de alcantarillado sanitario, son similares.

## 6 CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Dimensionamiento de las unidades de tratamiento:

Para dimensionar los elementos de la planta de tratamiento se utilizará la proyección poblacional por el método de la curva logística (como se puede mostrar en la sección 4.1.1 de este documento), para encontrar los caudales de diseño se utilizará la norma técnica de ANDA para diseño de proyectos de aguas negras como se muestra en la Ilustración 6-1.

4.4 Caudal Medio de aguas residuales  
El caudal medio de aguas residuales en litros por segundo, se calculará con la siguiente formula:

$$Q_{mes} = \frac{0.8 \times P \times q}{86400}$$

Dónde:

- $Q_{mes}$  es el caudal medio de aguas residuales en l/s
- $P$  población a beneficiar en habitantes
- $q$  es la dotación de agua potable en l/h-d

4.5 Variaciones de Caudal  
Para el cálculo del caudal máximo diario, horario y mínimo de aguas residuales, se utilizarán los siguientes coeficientes:

- Máximo diario (K1): de 1.2 a 1.5 el caudal medio
- Máximo horario (k2): de 1.8 a 2.4 el caudal medio
- Mínimo horario (k3): de 0.1 a 0.3 el caudal medio

4.6 Caudal de diseño de aguas residuales  
El caudal de diseño de las tuberías, deberá considerar los siguientes caudales:

- Caudal máximo horario  $Q_{mh}$ , el cual es el producto del  $Q_{mes}$  multiplicado por el factor k2
- Caudal por infiltración  $Q_i$ , el cual se estimará en 0.1l/s por kilómetro de tubería
- Caudal  $Q_c$  generado en industrias y comercios ubicados en el área del proyecto
- Caudal por conexiones erradas  $Q_e$  el cual se estimará como un 10% del  $Q_{mh}$

**Ilustración 6-1, factores de consumo para diseño de proyectos de agua potable, tomado de la NORMAS TÉCNICAS PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADOS DE AGUAS NEGRAS, 2014, pág. 30**

Para el cálculo del caudal de diseño es necesario considerar:

- Caudal medio diario para agua potable: Es el producto de la población proyectada para 20 Años y la dotación para vivienda que proporciona la norma técnica de ANDA, que varía entre 125 y 175 L/p/d para consumo de viviendas a nivel medio, en este caso se utilizara 150 L/p/d.
- Caudal medio diario para aguas negras: Es el producto del caudal medio diario de agua potable y el coeficiente de retorno que es de 0.8 con respecto al caudal de agua potable.
- Factores de caudal: Es la distribución del caudal de aguas negras durante un día, los factores de caudal se han utilizado según los presentados en (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005), en cuanto al horario, se ha adecuado el grafico según los hábitos de los habitantes del municipio (en las zonas semi rurales y rurales del país es bastante común que la hora de pernoctar es entre las 6 y las 8 de la noche).
- Caudal máximo horario: Se obtiene por medio del producto del caudal medio diario y el factor  $K_2$  que va de 1.8 a 2.4, para este caso se utilizara 2.
- Caudal por conexiones erradas: Es el caudal considerado por las conexiones no consideradas en el sistema de alcantarillado sanitario (ilegales), este caudal se considera el 10% del caudal máximo horario.

- Caudal por infiltración: Se refiere a la porción del agua lluvia que se infiltra en el sistema, se estima 0.1 L/s por cada kilómetro de tubería, dicho caudal se considera para época de lluvia.

En la siguiente tabla (Tabla 6-1) se muestran los caudales calculados de manera preliminar, mientras que en la Tabla 6-2 los caudales de diseño.

Año	DATOS PRELIMINARES					
	Población	NORMALES			FACTORES	
		Qmaxh	Qmed	Qminh	Qerradas	Qinf.
0	21,943					
1	22,216	61.71	30.86	3.09	6.17	2.20
2	22,488	62.47	31.23	3.12	6.25	2.20
3	22,758	63.22	31.61	3.16	6.32	2.20
4	23,026	63.96	31.98	3.20	6.40	2.20
5	23,293	64.70	32.35	3.24	6.47	2.20
6	23,557	65.44	32.72	3.27	6.54	2.20
7	23,820	66.17	33.08	3.31	6.62	2.20
8	24,080	66.89	33.44	3.34	6.69	2.20
9	24,338	67.61	33.80	3.38	6.76	2.20
10	24,594	68.32	34.16	3.42	6.83	2.20
11	24,848	69.02	34.51	3.45	6.90	2.20
12	25,099	69.72	34.86	3.49	6.97	2.20
13	25,348	70.41	35.21	3.52	7.04	2.20
14	25,593	71.09	35.55	3.55	7.11	2.20
15	25,837	71.77	35.88	3.59	7.18	2.20
16	26,077	72.44	36.22	3.62	7.24	2.20
17	26,315	73.10	36.55	3.65	7.31	2.20
18	26,550	73.75	36.88	3.69	7.38	2.20
19	26,781	74.39	37.20	3.72	7.44	2.20
20	27,010	75.03	37.51	3.75	7.50	2.20

Tabla 6-1, cálculo de caudales y factores de conexiones erradas e infiltración

Los valores aparecen en cero o simplemente no se han colocado para el año cero debido a que se está trabajando con proyecciones a futuro, esa es la razón de porque los cálculos dan inicio desde el año 1 hasta el año 20.

**Tabla 6-2, caudales de diseño para temporada lluviosa y temporada seca**

CAUDALES DE DISEÑO					
TEMPORADA SECA			TEMPORADA DE LLUVIA		
Qmaxh	Qmed	Qminh	Qmaxh	Qmed	Qminh
67.88	30.86	9.26	70.08	30.86	11.46
68.71	31.23	9.37	70.91	31.23	11.57
69.54	31.61	9.48	71.74	31.61	11.68
70.36	31.98	9.59	72.56	31.98	11.79
71.17	32.35	9.71	73.37	32.35	11.91
71.98	32.72	9.82	74.18	32.72	12.02
72.78	33.08	9.93	74.98	33.08	12.13
73.58	33.44	10.03	75.78	33.44	12.23
74.37	33.80	10.14	76.57	33.80	12.34
75.15	34.16	10.25	77.35	34.16	12.45
75.92	34.51	10.35	78.12	34.51	12.55
76.69	34.86	10.46	78.89	34.86	12.66
77.45	35.21	10.56	79.65	35.21	12.76
78.20	35.55	10.66	80.40	35.55	12.86
78.95	35.88	10.77	81.15	35.88	12.97
79.68	36.22	10.87	81.88	36.22	13.07
80.41	36.55	10.96	82.61	36.55	13.16
81.13	36.88	11.06	83.33	36.88	13.26
81.83	37.20	11.16	84.03	37.20	13.36
82.53	37.51	11.25	84.73	37.51	13.45

Se ha realizado el cálculo del caudal para aguas negras según lo descrito (utilizando un factor de retorno de 80% del caudal de agua potable), así mismo se ha determinado el caudal por conexiones erradas e infiltración.

A continuación, se muestran los caudales de diseño, donde se ha agregado los caudales por conexiones erradas e infiltración para temporada seca y lluviosa respectivamente.

### **Canal de rejas**

Para llevar a cabo el dimensionamiento del canal de rejas se ha utilizado como caudal de diseño el caudal máximo horario ( $Q_{maxh}$ ) para el final de periodo de diseño en temporada de lluvia y se hará la evaluación del canal para el caudal mínimo horario ( $Q_{minh}$ ) en temporada seca, la evaluación de ambos caudales se realiza para corroborar que el canal siempre posea flujo de agua residual en temporada seca y en época de lluvia para asegurar que no se provoque el desborde en el canal.

Los parámetros de diseño se muestran a continuación en la Tabla 6-3

Parámetro	Parámetro recomendado
Forma de barra	Rectangular No debe utilizar barras de refuerzo
Ancho de barra	5 – 15 mm
Espesor de barra	25 – 40 mm
Espaciamiento (aberturas) entre barras	25 – 50 mm 50 mm recomendado para que las heces humanas pasen por las barras.
Inclinación con la vertical	45 – 60°
Plataforma de drenaje	Suficientemente ancha para realizar el almacenamiento temporal del material retenido en condiciones sanitarias
Canaleta de desvío (By-pass)	Suficiente para desviar el caudal máximo durante una emergencia
Material de construcción de barras y plataforma de drenaje	Acero inoxidable o galvanizado y aluminio
Velocidad de aproximación	0.45 m/s
Tiempo de retención en canal de aproximación	>= 3 s
Largo de canal de aproximación	>= 1.35 m.
Velocidad a través de las barras	<= 0.6 m/s para caudal promedio <= 0.9 m/s para caudal máximo
Perdida de carga máxima	0.15 m.
Cantidad de material retenido	0.008 – 0.038 m <sup>3</sup> /1000 m <sup>3</sup> .
Disposición de material retenido	Solución técnica utilizando métodos sanitarios

**Tabla 6-3, parámetros de diseño para canal de rejas, (Gómez Domínguez, Palacios Díaz, & Sánchez Pérez, 2009, pág. 218)**

Se utilizarán los siguientes valores que cumplan con los parámetros de diseño tal como se muestra en la Tabla 6-4

**Tabla 6-4 valores utilizados según parámetros de diseño**

Forma de la barra	Rectangular	Rectangular
Ancho de barra	5 a 15 mm	10mm
Espesor de barra	25 a 40 mm	25 mm
Espaciamiento de barra	25 a 50 mm	25 mm
Inclinación con la vertical	45 a 60°	45°
Plataforma de drenaje	Suficiente para almacenar temporalmente el material retenido	Check
Canaleta de desvío	Suficiente para desviar el caudal durante una emergencia	Check
Material de barras	Acero inoxidable o galvanizado	Check
Velocidad de aproximación	0.45 m/s	0.45 m/s
Largo del canal	>=1.35 m	1.8 m



Tiempo de retención	$\geq 3$ segundos	4 s
Velocidad da través de las barras	$\leq 0.6$ m/s $Q_{med}$	0.6 m/s
Pérdida de carga máxima	0.15 m	0.11m
Cantidad de material retenido	0.008 a 0.038 m <sup>3</sup> /1000m <sup>3</sup>	.0081

A continuación, se presenta el dimensionamiento del canal de rejillas, para lo que se ha utilizado el caudal máximo horario en temporada de lluvia y se ha chequeado para el caudal mínimo horario en temporada seca.

### 1. Coeficiente para pérdida de carga ( $\beta$ ):

En la ilustración 6-2 se muestra los factores de pérdida de carga según la sección de las barras utilizadas para la rejilla en el canal, para el presente diseño se utilizará la sección tipo «A» con un coeficiente de perdida de carga igual a 2.42

	Forma de la Sección transversal						
Factor de forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.42	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

**Tabla 5.1.1.4. Coeficiente de Pérdida para Rejillas**

**Ilustración 6-2, coeficiente de pérdida de carga según la sección de las barras de la rejilla**

### 2. Tirante del canal a la salida de las rejillas ( $T_i$ )

El tirante se calcula dividiendo el área de sección transversal ( $A_{ST}$ ) por el ancho de canal (B).

$$T_i = \frac{A_{ST}}{B}$$

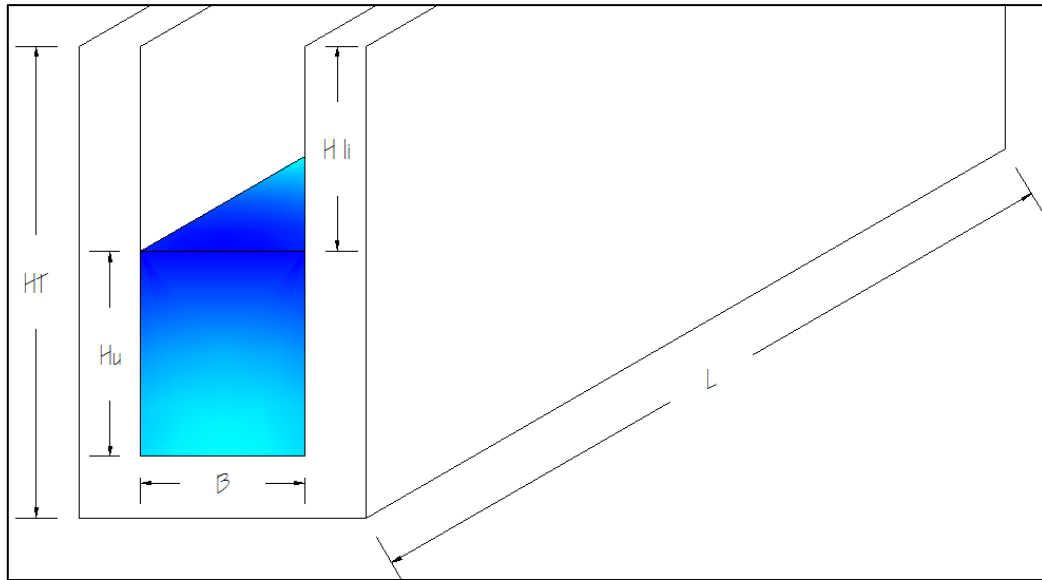
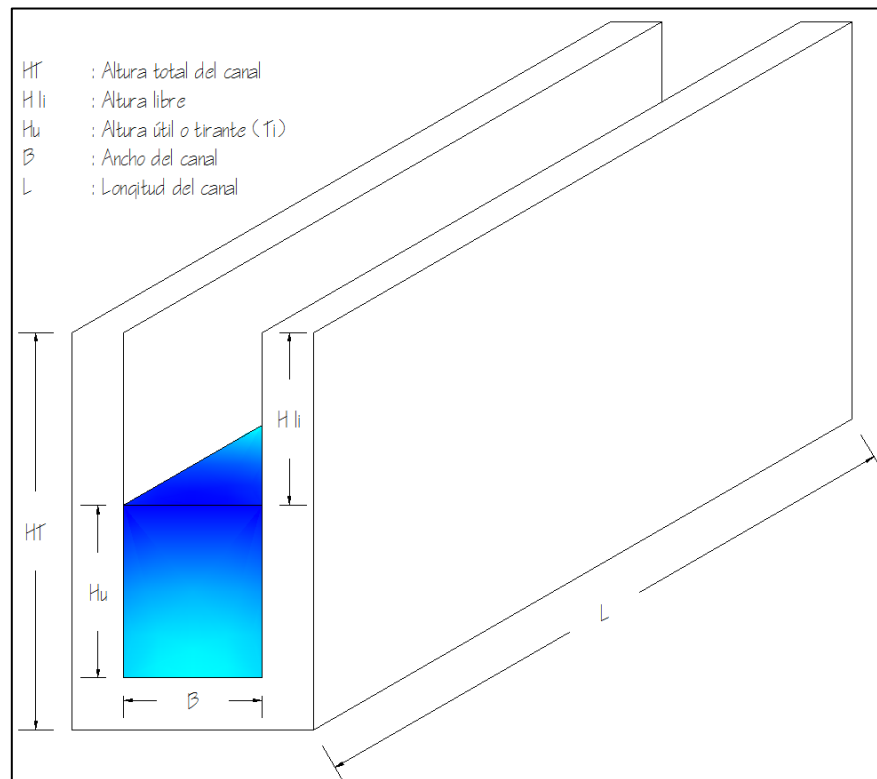


Ilustración 6-3, dimensiones del canal de rejillas



**Ilustración 6-4, isométrico del canal de rejás**

$$A_{ST} = \frac{Q}{V_{aprox}} = T_i \cdot B$$

Utilizando los caudales máximo horario en época de lluvia y el caudal mínimo horario en temporada seca, se valorará el tirante máximo y mínimo en el canal (a la salida), proponiendo un ancho de 0.40 metros para el canal de rejás.

El tirante para el caudal máximo horario que representa al mayor caudal en época de lluvia, es:

$$T_{i_{max}} = \frac{Q \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{\left( vel \left[ \frac{m}{s} \right] \right) (B [m])}$$

$$T_{i_{max}} = T_{i_{salida}} = \frac{0.08470 \frac{m^3}{s}}{\left( 0.45 \frac{m}{s} \right) (0.40m)} = 0.48 m$$

El tirante a la entrada del canal se encuentra al sumar el tirante a la salida del canal y la pérdida de carga.

$$T_{i_{entr}} = h + T_{i_{salida}}$$

### 3. Pérdida de carga por las rejillas y el contenido retenido (h):

Para conocer la pérdida de carga debido a la retención de sólido se utilizará la siguiente ecuación

$$h = \beta \left( \frac{w}{b} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \sin \theta$$

Donde:

h	: Pérdida de carga [m]	
w	: Espesor de las barras (profundidad de barra)	= 25mm
b	: Separación entre barras [mm]	= 25 mm
v	: Velocidad de aproximación [m/s]	= 0.45 m/s
$\beta$	: Coeficiente de pérdida de carga	= 2.42
$\theta$	: Ángulo entre la horizontal y las barras [DEG]	= 45°

Obteniendo de esta forma una pérdida de carga de **1.77 cm** (cuando las rejillas están limpias)

Para que el sistema no presente problemas, se debe realizar un chequeo de la pérdida de carga cuando las rejillas están sucias.

En el gráfico de la ilustración 6-4 se muestra el gráfico de la pérdida de carga en función del porcentaje de suciedad de las rejillas, alcanzando el límite máximo de 15 centímetros cuando la suciedad retenida alcanza aproximadamente el 66 %.

La relación de suciedad entre el espesor de las barras es directamente proporcional, mientras que para la separación de las barras es indirectamente proporcional.

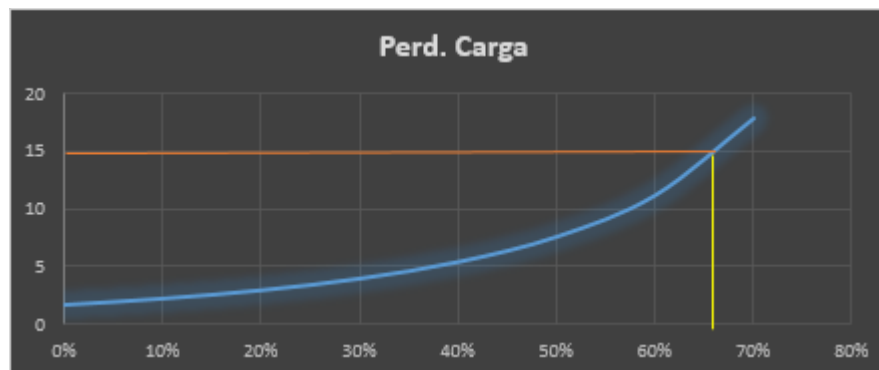


Ilustración 6-5, pérdida de carga con relación al porcentaje de suciedad retenida en la rejilla, siendo 15cm el valor máximo permitido.

Se hará la evaluación de pérdida de carga suponiendo un 60% de suciedad en las barras.

Para realizar dicha evaluación se deben considerar 2 aspectos importantes:

- a. El espesor de las barras, que aumentará cuando haya residuos retenidos en ellas

$$w' = w + b \cdot j$$

Dónde:

$w'$ : espesor de las barras cuando han retenido suciedad

$j$ : es el porcentaje de suciedad [decimal]

- b. La separación entre barras, que se verá reducida debido a los residuos atrapados en las rejillas

$$b' = b(1 - j)$$

Donde:

$b'$ : separación entre barras cuando existe suciedad retenida

Por lo tanto, la pérdida de carga en las rejillas sucias es

$$h_{sucias} = \beta \left( \frac{w'}{b'} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \sin \theta$$

Donde:

$h_{sucias}$  : Pérdida de carga [m]

$w'$  : Espesor de las barras sucias

- $b'$  : Separación entre barras sucias [mm]  
 $v$  : Velocidad de aproximación [m/s]  
 $\beta$  : Coeficiente de pérdida de carga  
 $\theta$  : Ángulo entre la horizontal y las barras [deg]

Obteniendo una pérdida de carga de **11.21 cm**

De lo anterior, se obtiene una pérdida de carga promedio (considerando que las rejillas normalmente trabajaran con cierta cantidad de suciedad retenida)

$$h_{prom} = \frac{h + h_{sucias}}{2}$$

De donde se obtiene una pérdida de carga promedio de **6.49 cm**

$$h_{prom} = 6.49 \text{ cm}$$

Se estima que ésta será la pérdida de carga con la que normalmente estará trabajando el canal de rejillas

4. Tirantes antes de las rejillas, se utilizará la pérdida de 11.21 cm, lo que brindará el máximo tirante permitido por el canal, lo que equivale a la altura donde se colocará el canal de alivio en caso de emergencia.

$$T_{i_{ingreso}} = T_i + h_{prom} = 0.48 + 0.1121$$

$$T_{i_{ingreso}} = 51 \text{ cm}$$

En la Ilustración 6-7, se muestra el esquema típico del canal de rejas, mientras que en la Ilustración 6-6 se muestra la sección de las rejas

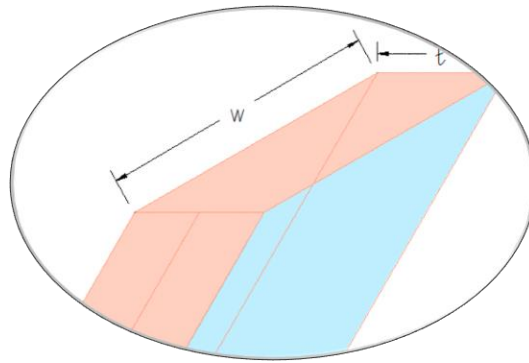


Ilustración 6-6, espesor de rejas

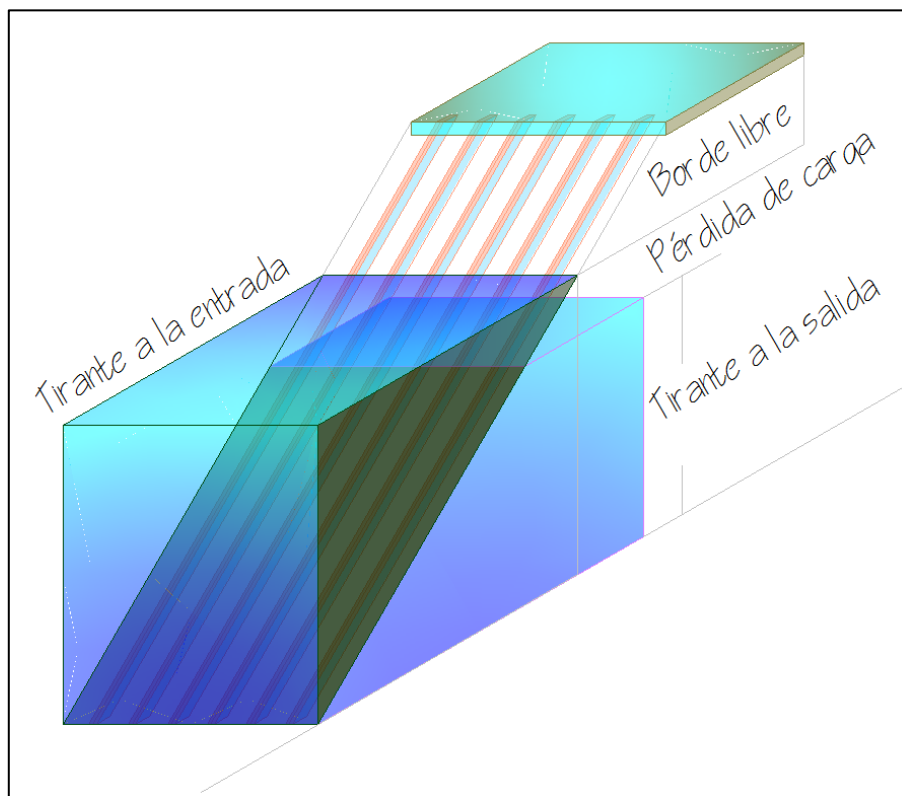


Ilustración 6-7, tirantes y pérdida de carga en el canal de rejas



### 5. Pendiente del canal (s)

Para lograr una velocidad de aproximación de 0.45 m/s, se utiliza la ecuación de Manning.

$$v = \left( \frac{(R_h^{2/3})(s^{1/2})}{n} \right)$$

Donde:

v : velocidad de aproximación = 0.45 m/s

Rh : Radio hidráulico = 0.14 m

s : Pendiente

n : Coeficiente de Manning = 0.015 (para el concreto)

$$s = \left( \frac{n \cdot v}{R_h^{2/3}} \right)^2 = 0.06\%$$

Obtenido una pendiente necesaria de **0.06%** para garantizar que el flujo del agua que ingresa al canal tenga una velocidad de aproximación hacia las rejillas de 0.45 m/s.

En las tablas de Tabla 6-5 a Tabla 6-9, se muestra los resultados del dimensionamiento del canal de rejillas.

### 6. Número de barras (N), el número de barras será calculado con base a la siguiente ecuación:

$$N = \frac{B - b}{t + b}$$

Donde:

N : Número de barras en la sección del canal

B : Ancho del canal = 0.40 m

b : Separación entre barras = 0.025m

t : Ancho de la barra = 0.01 m (ver Ilustración 6-8)

$$N = \frac{0.40 - 0.025}{0.010 + 0.025} = 10.71$$

$$N = 11 \text{ barras}$$

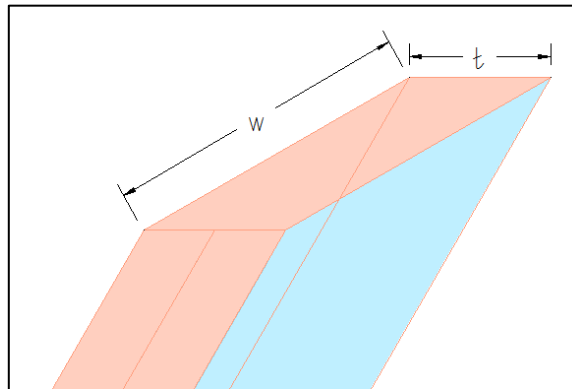


Ilustración 6-8, vista de las barras, ancho y espesor

7. Longitud del canal (L), la longitud del canal será calculada con base al tiempo de retención en el canal de rejillas, para lo que se ha utilizado un tiempo de 4 segundos.

$$L = v \cdot T_r$$

Donde:

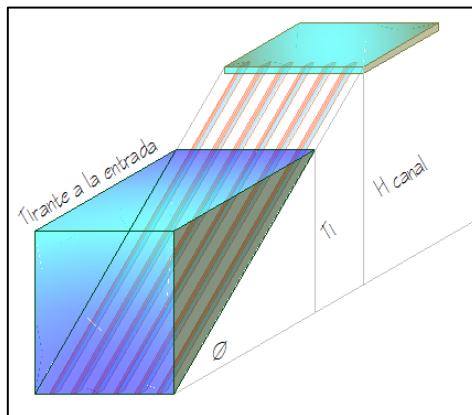
L : Longitud del canal [m]

v : velocidad de aproximación = 0.45 [m/s]

$T_r$  : Tiempo de retención = 4 [s]

$$L = v \cdot T_r = \left(0.45 \frac{m}{s}\right) (4 s) = 1.80 m > 1.35m, Ok$$

8. Longitud de las barras, a continuación, se procedió al cálculo del tamaño de las barras, tanto la longitud sumergida como la longitud total. Para encontrar las longitudes es necesaria la trigonometría, así como se muestra en la Ilustración 6-9 e Ilustración 6-10



**Ilustración 6-9, longitudes de las barras del canal de rejillas**

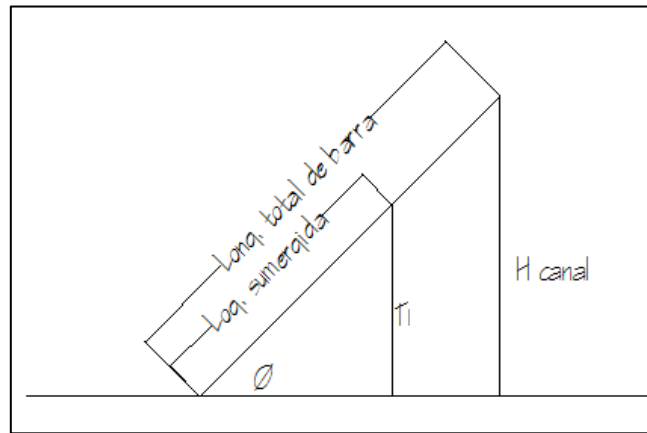


Ilustración 6-10, trigonometría y cálculo de tirante (Ti)

$$L_{sumergida\ max} = \frac{T_i}{\sin \theta} = \frac{0.48\ m}{\sin 45^\circ} = 0.68\ m$$

Finalmente, para la longitud total de las barras

$$L_{total} = \frac{h_{canal}}{\sin \theta} = \frac{0.60\ m}{\sin 45^\circ} = 0.85$$

Altura de diseño = **1.00 metros**

### **Resultados para el dimensionamiento del canal**

A continuación (Tabla 6-5), se presenta el resumen de los resultados para el canal de rejas

Tabla 6-5, resultados para el dimensionamiento del canal de rejas, utilizando el caudal medio

CANAL (Qmáx)	Valores
Caudal (Q) [m/s]	0.08470
Ancho (B) [m]	0.4000
Tirante entrada (H1) [m]	0.5400

Tirante salida (H2) [m]	0.4800
Borde libre (BL)	0.0600
Tiempo de retención (Tr) [s]	4.0000
Altura total (HT)	0.6000
Largo de canal (L) [m]	1.80
Área hidráulica de canal (Ah)[m <sup>2</sup> ]	0.1900
Perímetro mojado (Pm) [m]	1.3600
Radio hidráulico (m)	0.1397
Velocidad de aprox. (v) [m/s]	0.4500
Coefficiente de Manning	0.0150
Pendiente (m/m)	0.06%

En la Tabla 6-6 se verifica calculando dimensiones utilizando el caudal mínimo horario en temporada seca, lo que permite observar que el canal de rejillas no quedará en temporada seca.

<b>CANAL (Q<sub>mín</sub>)</b>	
Caudal (Q) [m/s]	0.0113
Ancho (B) [mts]	0.4000
Tirante entrada (H1) [m]	0.1400
Tirante salida (H2) [mt]	0.0800
Borde libre (BL)	0.4600
Tiempo de retención (Tr) [seg]	4.0000
Altura total (HT)	0.6000
Largo de canal (L) [m]	1.80
Área hidráulica de canal (m <sup>2</sup> )	0.0300
Perímetro mojado (m)	0.5600
Radio hidráulico (m)	0.0536
Velocidad de aprox. (v) [m/s]	0.4500
Coefficiente de Manning	0.0150

**Tabla 6-6, resultados del dimensionamiento para caudal mínimo.**

En la Tabla 6-7 se presenta el dimensionamiento de las barras del canal y la pérdida de carga (para rejillas limpias), mientras que en la Tabla 6-8 se presenta la pérdida de carga para las rejillas cuando están un 60% sucias

<b>REJILLAS LIMPIAS</b>	
Ancho de canal (B) [mm]	400
Longitud sumergida (l) [m]	0.2800

Longitud total (LT) [m]	0.8500
Ancho de barra (t) [mm]	10
Espesor de barra (w) [mm]	25
Separación entre barras (b) [mm]	25
Velocidad de aprox. [m/s]	0.45
Ángulo [DEG]	45
$\beta$	2.42
Gravedad [m/s]	9.81
<b>Perdida de carga (h) [cm]</b>	<b>1.77</b>

Tabla 6-7, pérdida de carga para rejillas limpias

<b>REJILLAS SUCIAS</b>	
Rejillas sucias [%]	60%
Espesor de barra sucia (w') [mm]	40
Espacio barra sucia (b') [mm]	10
<b>Perdida de carga (h) [cm]</b>	<b>11.21</b>

Tabla 6-8, pérdida de carga cuando las rejillas están sucias a un 60%

En resumen, se presenta a continuación, en la Tabla 6-9, la pérdida de carga promedio y el número de barras necesario para el canal.

<b>Pérdida de carga promedio [cm]</b>	<b>6.49</b>
<b>N° de barras (N)</b>	<b>11.00</b>
<b>Largo de canal (L) [m]</b>	<b>1.80</b>

Tabla 6-9, número de barras en el canal

### Diseño del desarenador

Este elemento tiene como función la precipitación de las partículas de arena contenidas en el agua residual, evitando una mayor concentración de sólidos en las siguientes etapas de la depuración.

El dimensionamiento del desarenador se calculará tomando en consideración que será capaz de remover partículas de diámetros iguales o superiores a 0.20mm, (López Rodríguez & Rodríguez Carranza, 2012, pág. 199).

Se utilizará como parámetros de diseño los mostrados en la Tabla 6-10

Parámetro	Unidad	Valor del parámetro según		
		Norma Boliviana	Norma Colombiana	Norma Mexicana
Número de cámaras desarenadoras	unidad	2.00	2.00	2.00
Velocidad en las cámaras	m/h	0.20 – 0.40	0.20– 0.40	0.30 – 0.36
Tiempo de retención hidráulico	Minutos	20 segundos y 3 minutos	20 segundos y 3 minutos	A definir oportunamente
Tasa de desbordamiento	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día	700 y 1600	700 - 1600	1080 y 1680
Tipo de limpieza	-	Manual para Q <sub>max</sub> inferiores a 50 l/s	Manual para Q <sub>max</sub> <50 l/s	Manual
Caudal de diseño	m <sup>3</sup> /día	Q <sub>máx</sub> horario	Q <sub>máx</sub> horario	Q <sub>máx</sub> horario
Frecuencia mínima de limpieza	semana	-	-	1 vez
Estructuras de control de caudal	unidad	Sutro	Sutro	Sutro, Parshall o Palmer

Tabla 6-10, parámetros de diseño para desarenadores, (Gómez Domínguez, Palacios Díaz, & Sánchez Pérez, 2009, pág. 222)

### 1 Caudales de diseño (Q)

Para el dimensionamiento del desarenador será necesario evaluar el tirante de agua para el caudal máximo horario y para el mínimo horario (caudales presentados en la sección anterior), de ambos resultados se encontrará un tirante medio.

a. Tirante máximo ( $h_{max}$ )

$$h_{max} = \frac{Q_{max}}{(v \cdot b)}$$

Donde

v: velocidad horizontal, se utilizará (0.3 m/s)<sup>12</sup>

b: ancho del canal, se asumirá 40cm para continuar con la medida utilizada en el canal de rejas

$$h_{max} = \frac{0.08473 \frac{m}{s}}{\left(0.30 \frac{m}{s}\right) (0.40m)} = 0.71 m = 71cm$$

b. Tirante mínimo ( $h_{min}$ )

$$h_{min} = \frac{Q_{min}}{(v \cdot b)}$$

$$h_{min} = \frac{0.0113 \frac{m}{s}}{\left(0.30 \frac{m}{s}\right) (0.40m)} = 0.09m = 9cm$$

$$h_{prom} = \frac{(h_{max}) + (h_{min})}{2} = \frac{(71 + 9)}{2}$$

$$h_{prom} \cong 40 cm$$

<sup>12</sup> Se aclara que los valores de la velocidad oscilan entre los 0.2 y 0.4 metros sobre segundo (m/s) y no metros sobre hora (m/h) como se muestra en la Tabla 6-10



Se considerará un borde libre de 20 cm, por lo que la altura del desarenador será

$$H = h_{max} + h_{libre}$$

$$H = 71 \text{ cm} + 20 \text{ cm}$$

$$H = 91 \text{ cm}$$

## 2 Longitud del desarenador (L)

Para determinar la longitud del desarenador primero será necesario proponer una velocidad de sedimentación, que, según (López Rodríguez & Rodríguez Carranza, 2012), para un diámetro de partículas mayor a 20mm, proponen una velocidad de sedimentación igual a 0.95 metros por minuto (equivalente a 0.0208 metros por segundo), de lo anterior:

$$L = \frac{(h_{max}) \cdot (v)}{v_{sed}}$$

Donde:

$h_{max}$ : tirante máximo [m]

$v$ : velocidad horizontal = 0.30 [m/s]

$v_{sed}$ : velocidad de sedimentación = 0.0208 [m/s]

$$L = \frac{(0.71 \text{ m}) \cdot \left(0.30 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{0.0208 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$L = 10.22 \text{ mt}$$

Esta longitud debe de ser aumentada en al menos un 50% debido a la dispersión de las partículas por la turbulencia en el desarenador, por lo tanto, la longitud optima del desarenador será:

$$L_{op} = 1.5 \cdot L = 1.5(10.22m)$$

$$L_{op} = 15.33 m \cong 15.00 m$$

Se utilizará una sola cámara por lo tanto su longitud será de 15 metros (también pueden utilizarse 2 cámaras de 7.5 cada una).

### 3 Volumen de arena acumuladas en el canal ( $V_{ar}$ )

Según (López Rodríguez & Rodríguez Carranza, 2012), se considera que el volumen promedio de recolección de arena esta entre 30 y 40 mililitros por cada metro cúbico vertido, por lo tanto, para este caso en particular, se utilizará 35 ml/m<sup>3</sup>.

$$V_{ar} = (Q_{maxh})(V_{promedio})$$

Donde

Var: Volumen de arena [m<sup>3</sup>/D]

Qmax: Caudal máximo horario [m<sup>3</sup>/D]

Vprom: Volumen promedio generado [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]

$$V_{ar} = \left(0.0847 \frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{86400 s}{1D}\right) \left(35 \frac{ml}{m^3}\right) \left(\frac{1L}{1000 ml}\right) \left(\frac{1m^3}{1000L}\right)$$

$$V_{ar} = 0.26 \frac{m^3}{D}$$

#### 4 Dimensión del canal para arenas

Ahora se procede a calcular el volumen de almacenamiento en el fondo del desarenador, para esto, se propone una sección de 20 centímetros por 20 centímetros.

$$V_{alm} = A_t \cdot L = (0.20m)(0.20m)(15.00m)$$

$$V_{alm} = 0.6 m^3$$

#### 5 Periodo de limpieza (t)

$$t = \frac{V_{alm}}{V_{ar}} = \frac{(0.60m^3)}{\left(0.26 \frac{m^3}{D}\right)} = 2.31 \text{ días}$$

A continuación, se presenta en la tabla el resumen del dimensionamiento del desarenador

Entrada de desarenador	Caudales	
	Qmáx	Qmin
<b>Datos</b>		
Vel. Horiz. (Vh) [m/s]	0.30	
Ancho de canal (b) [m]	0.40	
Prof. Útil (Pu) [m]	0.71	0.09
Prof. Útil promedio (Pu) [m]	0.40	
Borde libre (BL) [m]	0.20	
Altura total (HD) [m]	0.91	

Tabla 6-11, cálculo de profundidad media.

<b>DIMENSIONES</b>	
Vel. Sedimen. (Vs) [m/hr]	75.00
Vel. Sedimen. (Vs) [m/seg]	0.0208
Área sup. (As) [m <sup>2</sup> ]	4.067
Longitud (L) [m] - Vs	10.22
Longitud optima (Lop) [m]	15.33
Longitud (L) [m]	15.0
Relación L/Pu <30	38.33
# cámaras	1.00
Vel. De arrastre (Va) [m/s]	0.8
Coeficiente manning (n)	0.015
Área hidrau. (Ah) [m <sup>2</sup> ]	0.16
Perimetro moj. (Pm) [m]	1.20
Rad. Hidráulico (Rh) [m]	0.1333

**Tabla 6-12, resumen de dimensiones de desarenador.**

<b>REMOCIÓN DE ARENA</b>	
Remoción (Ra) [ml/m <sup>3</sup> ]	35.0
Volumen Are. (Var) [ml/s]	3.0
Volumen Are. (Var) [ml/día]	256132.8
Volumen Are. (Var) [L/día]	256.1
Volumen Are. (Var) [m <sup>3</sup> /día]	0.26
Lado de sec. (aL) [m]	0.20
Vol. de sección (Volsec) [m <sup>3</sup> ]	0.60
Periodo limpieza (TL) [días]	2.31

**Tabla 6-13, resumen de remoción de arenas.**

### **Medidor de caudal Sutro**

En algunas aplicaciones prácticas y usos de laboratorio, es común el empleo de los vertederos proporcionales, también llamados vertederos o medidores de caudal Sutro, este tipo de vertederos reciben su nombre debido a la relación directa que existe entre la altura y el caudal (Skertchly Molina, 1988, pág. 26)

Estos vertederos constan de un área rectangular en la base inferior, para luego iniciar una curva (distintiva para este elemento) por donde se hace pasar el fluido, de esta manera, se puede estimar un caudal según la altura medida en medidor.

Para el diseño de estos vertederos se utilizar únicamente 2 fórmulas, una para determinar el caudal con base a la altura del agua en la curva del vertedero y la otra que define la curva del vertedero.

#### 1. Definición de la curva del vertedero

$$x = b \left( 1 - \left( \frac{2}{\pi} \right) \left( \tan^{-1} \left( \sqrt{\frac{y}{a}} \right) \right) \right)$$

Donde:

- x: La distancia en la base del vertedero (variable)
- b: El semi ancho de la base del vertedero (constante)
- y: Altura de la curva del vertedero (variable)
- a: Altura de la parte rectangular del vertedero (constante)

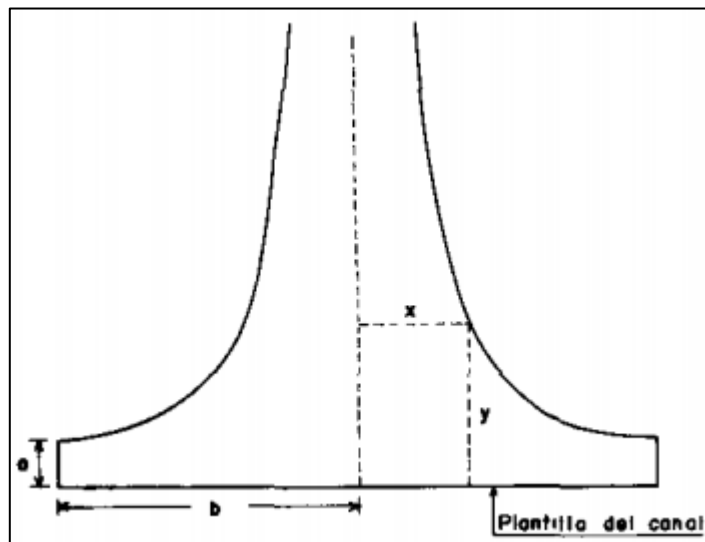


Ilustración 6-11, sección típica de un vertedero proporcional (Sutro), imagen tomada de (Skertchly Molina, 1988)

## 2. Caudal en el vertedero

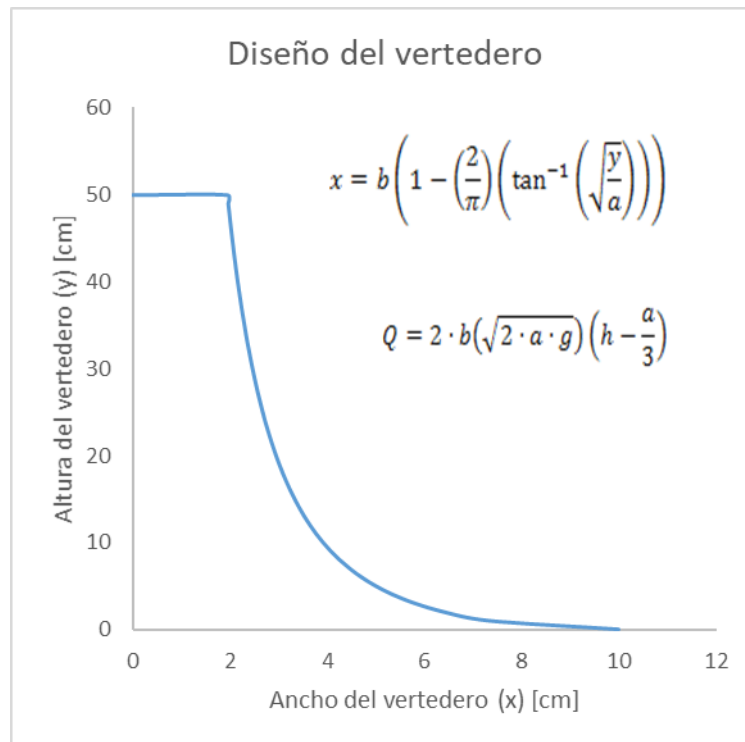
La siguiente fórmula define el caudal con base a la altura ( $h$ ) medida desde la base del vertedero

$$Q = 2 \cdot b(\sqrt{2 \cdot a \cdot g}) \left( h - \frac{a}{3} \right)$$

Donde

- Q: Caudal [m/s]
- b: Semi-base del vertedero [m]
- a: Altura del rectángulo de la base del vertedero [m]
- g: Constante gravitatoria (9.81) [m/s<sup>2</sup>]
- h: Altura del agua en el vertedero [m]

Se han realizado los cálculos utilizando las ecuaciones presentadas anteriormente y tomando como valores de las constantes a y b, 5 cm y 10 cm respectivamente, con esto se obtiene los siguientes resultados. En la Ilustración 6-12 se muestra la curvatura del vertedero Suro, mientras que la Ilustración 6-13, se ha realizado la simetría con el eje vertical.



**Ilustración 6-12, diseño de la curvatura del vertedero Suro**

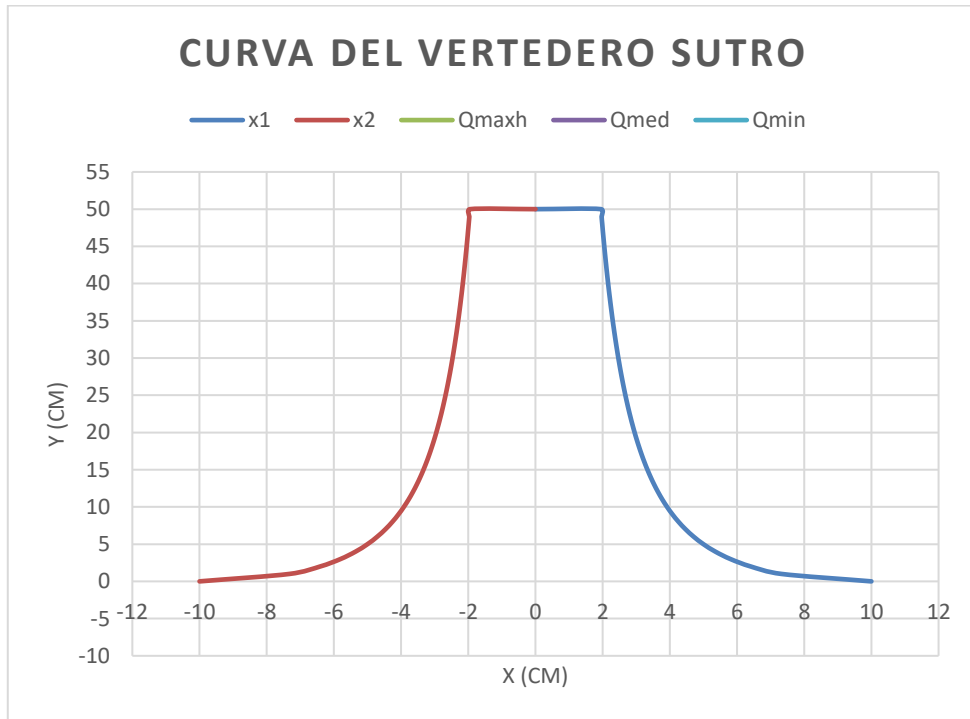


Ilustración 6-13, simetría del vertedero



Ilustración 6-14, gráfico de la curva de vertedero de Sutro.



Tabla 6-14, caudal calculado con base a la altura medida en el vertedero

Altura (H)		Caudal (Q)	Q max	Altura (H)		Caudal (Q)	Q max
cm	m			cm	m		
0	0	0.00330151	0.0847	26	0.26	0.04820212	0.0847
1	0.01	0.00132061	0.0847	27	0.27	0.05018303	0.0847
2	0.02	0.0006603	0.0847	28	0.28	0.05216393	0.0847
3	0.03	0.00264121	0.0847	29	0.29	0.05414484	0.0847
4	0.04	0.00462212	0.0847	30	0.3	0.05612575	0.0847
5	0.05	0.00660303	0.0847	31	0.31	0.05810666	0.0847
6	0.06	0.00858394	0.0847	32	0.32	0.06008757	0.0847
7	0.07	0.01056485	0.0847	33	0.33	0.06206848	0.0847
8	0.08	0.01254576	0.0847	34	0.34	0.06404939	0.0847
9	0.09	0.01452667	0.0847	35	0.35	0.0660303	0.0847
10	0.1	0.01650757	0.0847	36	0.36	0.0680112	0.0847
11	0.11	0.01848848	0.0847	37	0.37	0.06999211	0.0847
12	0.12	0.02046939	0.0847	38	0.38	0.07197302	0.0847
13	0.13	0.0224503	0.0847	39	0.39	0.07395393	0.0847
14	0.14	0.02443121	0.0847	40	0.4	0.07593484	0.0847
15	0.15	0.02641212	0.0847	41	0.41	0.07791575	0.0847
16	0.16	0.02839303	0.0847	42	0.42	0.07989666	0.0847
17	0.17	0.03037394	0.0847	43	0.43	0.08187757	0.0847
18	0.18	0.03235485	0.0847	44	0.44	0.08385848	0.0847
19	0.19	0.03433575	0.0847	45	0.45	0.08583938	0.0847
20	0.2	0.03631666	0.0847	46	0.46	0.08782029	0.0847
21	0.21	0.03829757	0.0847	47	0.47	0.0898012	0.0847
22	0.22	0.04027848	0.0847	48	0.48	0.09178211	0.0847
23	0.23	0.04225939	0.0847	49	0.49	0.09376302	0.0847
24	0.24	0.0442403	0.0847	50	0.50	0.09574393	0.0847
25	0.25	0.04622121	0.0847	51	0.51	0.09772484	0.0847
26	0.26	0.04820212	0.0847	52	0.52	0.09970575	0.0847
27	0.27	0.05018303	0.0847	53	0.53	0.10168666	0.0847
28	0.28	0.05216393	0.0847	54	0.54	0.10366756	0.0847
29	0.29	0.05414484	0.0847	55	0.55	0.10564847	0.0847
30	0.3	0.05612575	0.0847	56	0.56	0.10762938	0.0847

Se procedió con los cálculos para determinar el caudal con base en las alturas medidas a cada centímetro en el vertedero, el resultado se puede apreciar en la Tabla 6-14, donde se puede apreciar que el caudal máximo horario se alcanza cuando la altura del vertedero oscila entre los 44 y 45 centímetros.

En la Tabla 6-15 se presentan los valores calculados para el diseño de la curvatura del vertedero. Es conveniente recordar que, el vertedero tiene una base rectangular de 5 centímetros de alto y una base de 20 centímetros.

**Tabla 6-15, diseño y simetría del vertedero proporcional (Sutro)**

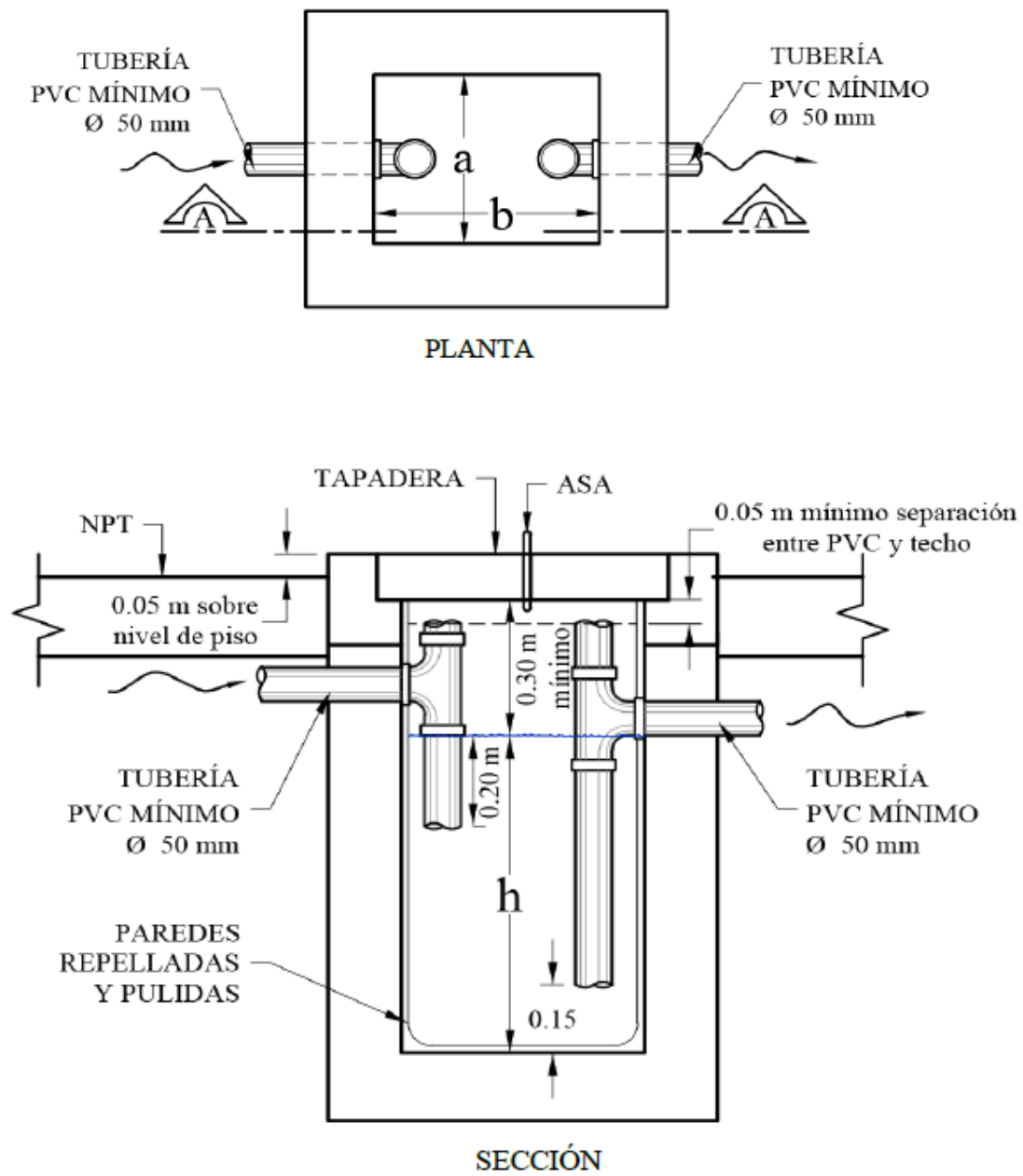
CURVATURA DEL VERTEDERO					
Altura (y) [cm]	Longitud [cm]		Altura (y) [cm]	Longitud [cm]	
	x	x2		x	x2
0	10	-10	26	2.63	-2.63
1	7.32	-7.32	27	2.59	-2.59
2	6.41	-6.41	28	2.55	-2.55
3	5.80	-5.80	29	2.51	-2.51
4	5.35	-5.35	30	2.47	-2.47
5	5.00	-5.00	31	2.43	-2.43
6	4.71	-4.71	32	2.40	-2.40
7	4.47	-4.47	33	2.36	-2.36
8	4.26	-4.26	34	2.33	-2.33
9	4.08	-4.08	35	2.30	-2.30
10	3.92	-3.92	36	2.27	-2.27
11	3.78	-3.78	37	2.24	-2.24
12	3.65	-3.65	38	2.22	-2.22
13	3.53	-3.53	39	2.19	-2.19
14	3.43	-3.43	40	2.16	-2.16
15	3.33	-3.33	41	2.14	-2.14
16	3.25	-3.25	42	2.12	-2.12
17	3.16	-3.16	43	2.09	-2.09
18	3.09	-3.09	44	2.07	-2.07
19	3.02	-3.02	45	2.05	-2.05
20	2.95	-2.95	46	2.03	-2.03
21	2.89	-2.89	47	2.01	-2.01
22	2.83	-2.83	48	1.99	-1.99
23	2.78	-2.78	49	1.97	-1.97
24	2.73	-2.73	50	1.95	-1.95
25	2.68	-2.68	50	0.00	0.00

Tabla 6-16, caudal medido en base a la altura registrada en el medidor Sutro

CAUDAL					
Altura (H)		Caudal (Q)	Altura (H)		Caudal (Q)
cm	m		cm	m	
0	0	0	26	0.26	0.04820212
1	0.01	0	27	0.27	0.05018303
2	0.02	0.0006603	28	0.28	0.05216393
3	0.03	0.00264121	29	0.29	0.05414484
4	0.04	0.00462212	30	0.3	0.05612575
5	0.05	0.00660303	31	0.31	0.05810666
6	0.06	0.00858394	32	0.32	0.06008757
7	0.07	0.01056485	33	0.33	0.06206848
8	0.08	0.01254576	34	0.34	0.06404939
9	0.09	0.01452667	35	0.35	0.0660303
10	0.1	0.01650757	36	0.36	0.0680112
11	0.11	0.01848848	37	0.37	0.06999211
12	0.12	0.02046939	38	0.38	0.07197302
13	0.13	0.0224503	39	0.39	0.07395393
14	0.14	0.02443121	40	0.4	0.07593484
15	0.15	0.02641212	41	0.41	0.07791575
16	0.16	0.02839303	42	0.42	0.07989666
17	0.17	0.03037394	43	0.43	0.08187757
18	0.18	0.03235485	44	0.44	0.08385848
19	0.19	0.03433575	45	0.45	0.08583938
20	0.2	0.03631666	46	0.46	0.08782029
21	0.21	0.03829757	47	0.47	0.0898012
22	0.22	0.04027848	48	0.48	0.09178211
23	0.23	0.04225939	49	0.49	0.09376302
24	0.24	0.0442403	50	0.5	0.09574393
25	0.25	0.04622121	50	0.5	0.09574393

### Trampa de grasa

Este dispositivo es utilizado para retener aceites y grasas, las cuales son retiradas posteriormente. La forma más simple y económica para la eliminación de las grasas y aceites se basa en aprovechar su flotabilidad, por lo que bajo el principio del sifón los flotantes quedan retenidos en la superficie del líquido.



Los parámetros para el tiempo de retención  $T_R$

3 min. ----- hasta 10 L /s.

4 min. ----- 10 – 20 L /s.

5 min. ----- más de 20 L / s.

Parámetros propuestos por la (Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, 2015)

Con un caudal máximo horario de 84.7 debemos seleccionar 5 minutos (300 segundos) para tiempo de retención.

- Relación largo/ancho (R L/a) oscila entre 1:1.8 a 1:4

Seleccionaremos una relación 1:2

- Tasa de aplicación (Ts) para área superficial

4 L / s / m<sup>2</sup> ≡ 0.25 m<sup>2</sup> por cada L/s

$$A_{sup} = Q * Ts = 84.7 \left[ \frac{L}{s} \right] \cong 85 \left[ \frac{L}{s} \right] \times 0.25 \left[ (m^2) \left( \frac{L}{s} \right) \right] = 4.63 m^2$$

- Ancho (a)

$$L = 2a =$$

$$a = \sqrt{\frac{A_{sup}}{2}} = \sqrt{\frac{4.63}{2}}$$

$$a = 3.26 \text{ m}$$

- Largo (L)

$$L = 2a = 6.52 \text{ m}$$

- Volumen acumulado

$$V = Q \cdot T_R = 0.085 \text{ m}^3/\text{s} (300 \text{ s}) = 25.50 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del fondo de la trampa de grasa tenemos la siguiente relación:

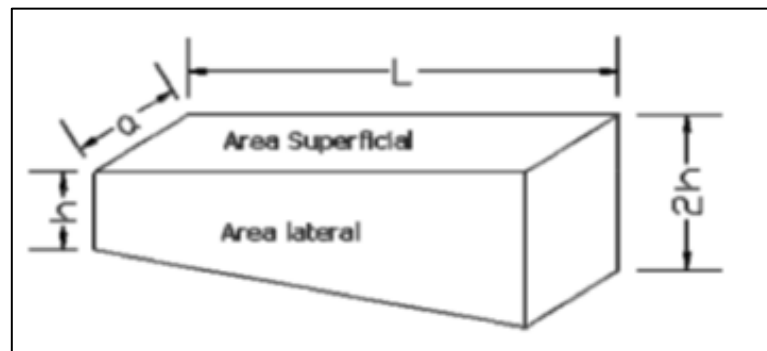


Ilustración 6-15, Esquema del tanque recolector. (Ayala Durán & Díaz Castillo, 2008)

$$V = A_{\text{lateral}} \times a$$

El Ministerio de Salud recomienda que el fondo de la trampa de grasas sea plano, sin embargo, se dejará un desnivel de 0.5 metros para la limpieza de los lodos acumulados.

$$Alaterra = \frac{(h + h_2)L}{2}$$

Donde  $h_2 = h + 0.5[m]$

Luego tenemos:

$$V = \left( \frac{(h + h_2)L}{2} \right) \cdot a \rightarrow \frac{2 \cdot V}{a \cdot L} = (h + 0.5 + h)$$

$$\frac{2 \cdot V}{a \cdot L} = (2h + 0.5)$$

$$h = \frac{\left( \frac{2 \cdot V}{a \cdot L} \right) - 0.5}{2}$$

$$h = 0.95 \text{ m}$$

$$h_2 = h + 0.5[m] = 0.95 + 0.5$$

$$h_2 = 0.45 [m]$$

### **Diseño de homogeneizador**

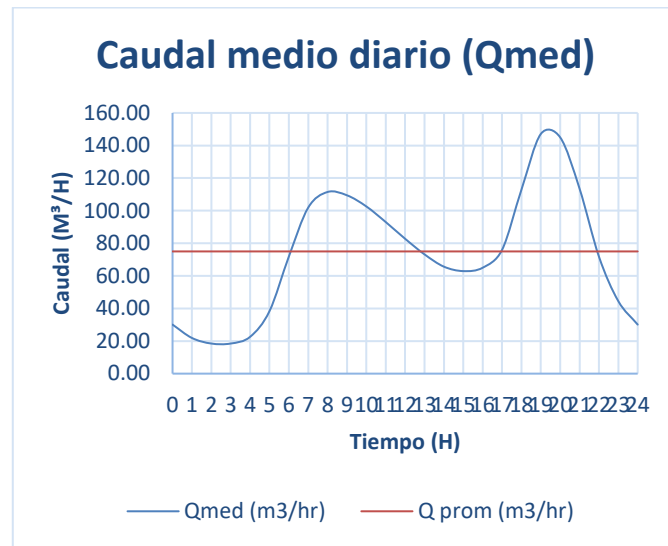
La función del homogeneizador, como su nombre lo indica, es homogeneizar los caudales (mantener un caudal constante) de entrada para los elementos posteriores. En vista que no fue posible (como se ha descrito en las limitaciones de este documento) realizar un estudio de los caudales diarios para la zona urbana en el municipio de Zaragoza en vista que para poder llevar a cabo un estudio se necesitaría al menos 3 años<sup>13</sup>, se han utilizado los factores de caudal diario presentados por (Crites, Tchobanoglous, & Miller , 2000) válidos para poblaciones urbanas pequeñas.

El cálculo del volumen se realizará utilizando la suma de los valores absolutos del volumen máximo positivo y el volumen máximo negativo como se muestra en la última columna de la Tabla 6-17.

---

<sup>13</sup> Según se menciona en el texto de Metcalf & Eddy, "Ingeniería de aguas residuales, tratamiento y reutilización"





**Ilustración 6-16, distribución de caudal diario**

En la siguiente tabla (Tabla 6-17) se muestran los cálculos realizados para determinar el volumen del homogeneizador, en las primeras 2 columnas se presenta los periodos de tiempo (hora de inicio y final del intervalo analizado) en que el caudal estará ingresando, para hacerlo, se ha utilizado los factores de distribución de caudal mostrados en la tercera columna. La cuarta columna resulta de multiplicar el caudal medio diario por los factores horarios de caudal, las siguientes columnas muestran el caudal en diferentes unidades, en la sexta columna se muestra el caudal en metros cúbicos por hora, que será el volumen del afluente por cada hora (ver séptima columna).

Tabla 6-17, cálculos para el dimensionamiento del homogeneizador

CÁLCULOS PARA DISEÑO DEL HOMOGENEIZADOR											
Periodo (hr)		Factor para Q	Q (L/S)	Qmed (M3/S)	Qmed (m3/hr)	Q prom (m3/hr)	Volumen Aflu. (m3)	Volumen acum. (m3)	Vol. Drenado (m3)	Vol. Drenado Acum. (m3)	Volumen almacenado (m3)
Inicio	Final										
0	1	0.4012	15.246	0.01525	54.89	136.80	54.89	54.89	-81.91	-81.91	-81.91
1	2	0.2918	11.088	0.01109	39.92	136.80	39.92	94.80	-96.88	-178.80	-178.80
2	3	0.2462	9.356	0.00936	33.68	136.80	33.68	128.48	-103.12	-281.92	-281.92
3	4	0.2462	9.356	0.00936	33.68	136.80	33.68	162.16	-103.12	-385.04	-385.04
4	5	0.3009	11.435	0.01143	41.16	136.80	41.16	203.33	-95.64	-480.67	-480.67
5	6	0.5106	19.404	0.01940	69.86	136.80	69.86	273.18	-66.94	-547.62	-547.62
6	7	0.9574	36.383	0.03638	130.98	136.80	130.98	404.16	-5.82	-553.44	-553.44
7	8	1.3587	51.629	0.05163	185.87	136.80	185.87	590.03	49.07	-504.37	-504.37
8	9	1.4863	56.480	0.05648	203.33	136.80	203.33	793.36	66.53	-437.84	-437.84
9	10	1.4590	55.441	0.05544	199.59	136.80	199.59	992.94	62.79	-375.06	-375.06
10	11	1.3678	51.976	0.05198	187.11	136.80	187.11	1180.06	50.31	-324.74	-324.74
11	12	1.2401	47.125	0.04712	169.65	136.80	169.65	1349.70	32.85	-291.90	-291.90
12	13	1.1033	41.927	0.04193	150.94	136.80	150.94	1500.64	14.14	-277.76	-277.76
13	14	0.9757	37.076	0.03708	133.47	136.80	133.47	1634.12	-3.33	-281.08	-281.08
14	15	0.8754	33.264	0.03326	119.75	136.80	119.75	1753.87	-17.05	-298.13	-298.13
15	16	0.8389	31.878	0.03188	114.76	136.80	114.76	1868.63	-22.04	-320.17	-320.17
16	17	0.8663	32.918	0.03292	118.50	136.80	118.50	1987.13	-18.30	-338.47	-338.47
17	18	1.0122	38.462	0.03846	138.46	136.80	138.46	2125.60	1.66	-336.80	-336.80
18	19	1.5046	57.173	0.05717	205.82	136.80	205.82	2331.42	69.02	-267.78	-267.78
19	20	1.9605	74.498	0.07450	268.19	136.80	268.19	2599.62	131.39	-136.38	-136.38
20	21	1.9331	73.459	0.07346	264.45	136.80	264.45	2864.07	127.65	-8.73	-8.73
21	22	1.5137	57.520	0.05752	207.07	136.80	207.07	3071.14	70.27	61.54	61.54
22	23	0.9574	36.383	0.03638	130.98	136.80	130.98	3202.12	-5.82	55.72	55.72
23	24	0.5927	22.523	0.02252	81.08	136.80	81.08	3283.20	-55.72	0.00	0.00

El volumen acumulado (octava columna) no es más que la suma de del volumen del periodo actual, más el periodo anterior, por otra parte, para determinar el volumen drenado (novena columna) se ha restado, al caudal afluente, el caudal medio diario.

- Cálculo para la columna 4 (Caudal “Q”)

$$Q = (F_Q)(Q_{med})$$

$$Q_{0-1} = (0.4012)(38) = 15.246 \left[ \frac{L}{s} \right]$$

$$Q_{4-5} = (0.3009)(38) = 11.435 \left[ \frac{L}{s} \right]$$

$$Q_{17-18} = (1.0122)(38) = 38.462 \left[ \frac{L}{s} \right]$$

- Cálculo para la columna 5 (Caudal “Q” en metros cúbicos por hora)

$$Q_{0-1} = 15.246 \left[ \frac{L}{s} \right] \cdot \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) = 0.01525 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{4-5} = 11.435 \left[ \frac{L}{s} \right] \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) = 0.01143 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{17-18} = 38.462 \left[ \frac{L}{s} \right] \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) = 0.03846 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

- Cálculo para la columna 6 (Caudal “Q” en metros cúbicos por hora)

$$Q_{0-1} = 15.246 \left[ \frac{L}{s} \right] \cdot \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) \cdot \left( \frac{3600s}{1h} \right) = 54.89 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{4-5} = 11.435 \left[ \frac{L}{s} \right] \cdot \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) \cdot \left( \frac{3600s}{1h} \right) = 41.16 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$Q_{17-18} = 38.462 \left[ \frac{L}{s} \right] \cdot \left( 1 \frac{m^3}{1000L} \right) \cdot \left( \frac{3600s}{1h} \right) = 138.46 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

- Cálculo para la columna 7 (“Q promedio”): es igual a la suma de la columna 6 dividida por 24

$$Q_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{24} Q_i \left[ \frac{m^3}{h} \right]}{24} = 136.80 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

- Cálculo para la columna 8 (“Volumen en el afluente”)

Es igual al Volumen para cada hora del día, el valor es igual al de la columna 6 ya que es el volumen por cada hora.

$$Vol_{0-1} = 54.89 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \cdot (1h) = 54.89 [m^3]$$

$$Vol_{4-5} = 41.16 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \cdot (1h) = 41.16 [m^3]$$

$$Vol_{17-18} = 138.46 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \cdot (1h) = 138.46 [m^3]$$

- Cálculo para la columna 9 (“Volumen acumulado”)

Es igual al volumen acumulado para cada hora del día (se hace una suma acumulada para la columna anterior, iniciando con 54.89 metros cúbicos)

- Cálculo para la columna 10 (“Volumen drenado”)

Corresponde al volumen en el intervalo analizado menos el volumen promedio (el volumen promedio se calcula de la misma manera que se ha calculado el caudal promedio “Qprom”, (136.80 m<sup>3</sup> para este caso).

$$Vol_{dre_{0-1}} = (54.89 - 136.80) = -81.91 [m^3]$$

$$Vol_{dre_{4-5}} = (41.16 - 136.80) = -95.64 [m^3]$$

$$Vol_{dre_{17-18}} = (138.46 - 136.80) = 1.66[m^3]$$

La columna 11 se completa encontrando el volumen acumulado para la columna 10.

- Cálculo para la columna 12 son los mismos valores que la columna anterior como se muestra en la Tabla 6-18, esto se puede calcular también mediante la siguiente fórmula

$$Vol_{alm_{periodo}} = Vol_{afluente_{periodo}} + Vol_{alm_{periodo anterior}} - Vol_{med}$$

Tabla 6-18, encontrando el volumen almacenado para cada intervalo

Periodo (hr)		Vol. Drenado Acum. (m3)	Volumen almacenado (m3)
Inicio	Final		
0	1	-81.91	-81.91
1	2	-178.80	-178.80
2	3	-281.92	-281.92
3	4	-385.04	-385.04
4	5	-480.67	-480.67
5	6	-547.62	-547.62
6	7	-553.44	-553.44

Primer periodo

$$Vol_{alm_{periodo}} = Vol_{afluente_{periodo}} + Vol_{alm_{periodo anterior}} - Vol_{med}$$

$$Vol_{alm_{0-1}} = Vol_{afluente_{0-1}} + 0(\text{ya que es el primer periodo}) - Vol_{med}$$

$$Vol_{alm_{0-1}} = 54.89 + 0 - 136.80 = -81.91 [m^3]$$

Segundo periodo

$$Vol_{alm_{1-2}} = Vol_{afluente_{1-2}} + Vol_{alm_{0-1}} - Vol_{med}$$

$$Vol_{alm_{1-2}} = 39.92 + (-81.91) - 136.80 = -178.80 [m^3]$$

Se continúa calculando hasta llegar al periodo de las 23 a las 24 (0 horas)

$$Vol_{alm_{23-24}} = Vol_{afluente_{23-24}} + Vol_{alm_{22-23}} - Vol_{med}$$

$$Vol_{alm_{23-24}} = 81.08 + 55.72 - 136.80 = 0 [m^3]$$

Los resultados se muestran en la Tabla 6-19

Tabla 6-19, cálculo del volumen almacenado para cada intervalo

Periodo (hr)		Vol. Drenado Acum. (m3)	Volumen almacenado (m3)
Inicio	Final		
0	1	-81.91	-81.91
1	2	-178.80	-178.80
2	3	-281.92	-281.92
3	4	-385.04	-385.04
4	5	-480.67	-480.67
5	6	-547.62	-547.62
6	7	-553.44	-553.44
7	8	-504.37	-504.37
8	9	-437.84	-437.84
9	10	-375.06	-375.06
10	11	-324.74	-324.74
11	12	-291.90	-291.90
12	13	-277.76	-277.76
13	14	-281.08	-281.08
14	15	-298.13	-298.13
15	16	-320.17	-320.17
16	17	-338.47	-338.47
17	18	-336.80	-336.80
18	19	-267.78	-267.78
19	20	-136.38	-136.38
20	21	-8.73	-8.73
21	22	61.54	61.54
22	23	55.72	55.72
23	24	0.00	0.00

Una vez se ha encontrado el volumen almacenado para cada periodo de tiempo, se buscan los valores máximos tanto positivo como negativo (si lo hubiere) y se suman sus respectivos valores absolutos, el resultado es el volumen del homogeneizador.

$$Vol_{homogeneizador} = |Vol_{alm_{max\ positivo}}| + |Vol_{alm_{max\ negativo}}|$$

$$Vol_{homogeneizador} = 61.54 + |-553.44| [m^3]$$

$$Vol_{homogeneizador} = 614.98 [m^3]$$

### Cálculo del volumen utilizando el método gráfico

Este método consiste en dibujar un gráfico de dispersión con los datos del volumen acumulado para los intervalos (24 horas) tal como se muestra en la Ilustración 6-17, para luego trazar una línea que una el inicio con el final de la curva (a lo que se le llamará tangente máxima o volumen medio diario) ver Ilustración 6-18.

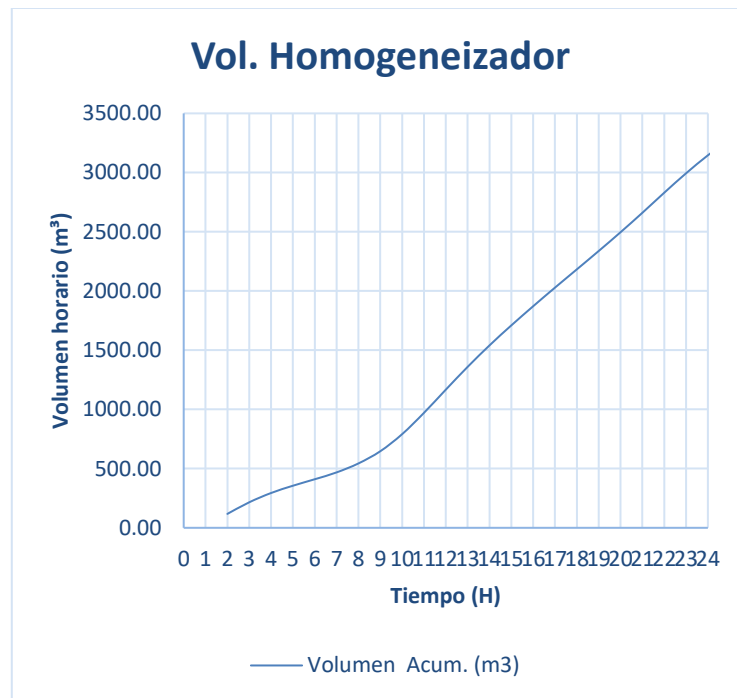
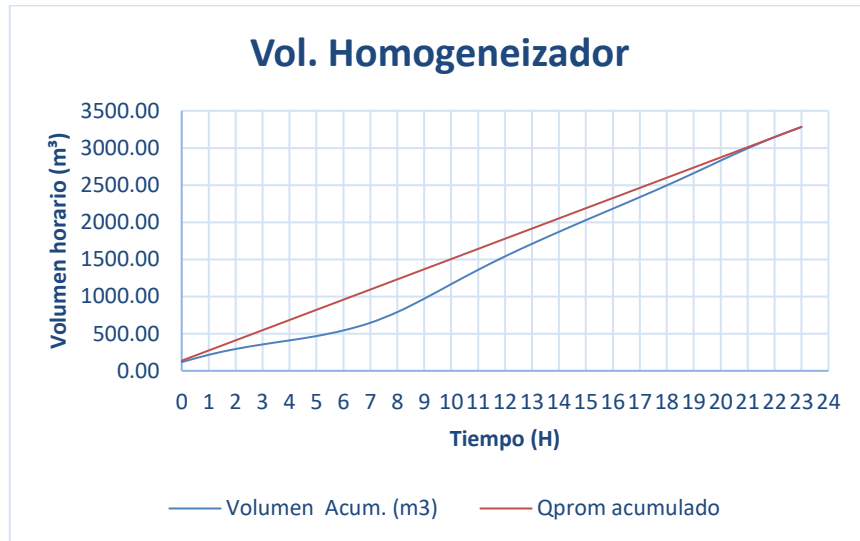


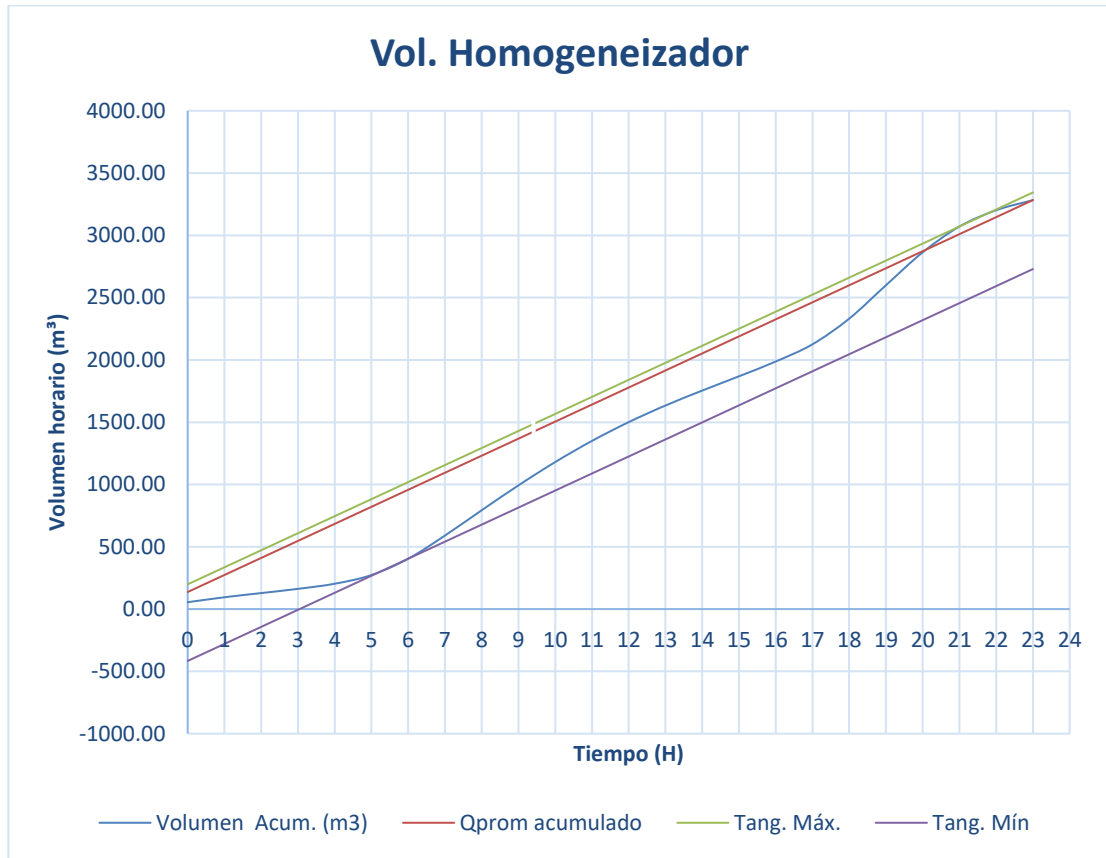
Ilustración 6-17, volumen acumulado en el afluente





**Ilustración 6-18, volumen acumulado en el afluente y volumen medio diario**

Luego se traza una línea paralela a ésta, que sea tangente a la curva como se muestra en la Ilustración 6-19, a esta se le llamará tangente mínima. Finalmente, al medir una distancia vertical entre estas dos líneas se obtiene el volumen del tanque (línea de color blanco entre las 2 tangentes (ver Ilustración 6-19)).



**Ilustración 6-19, tangentes máxima y mínima para el gráfico de volumen**

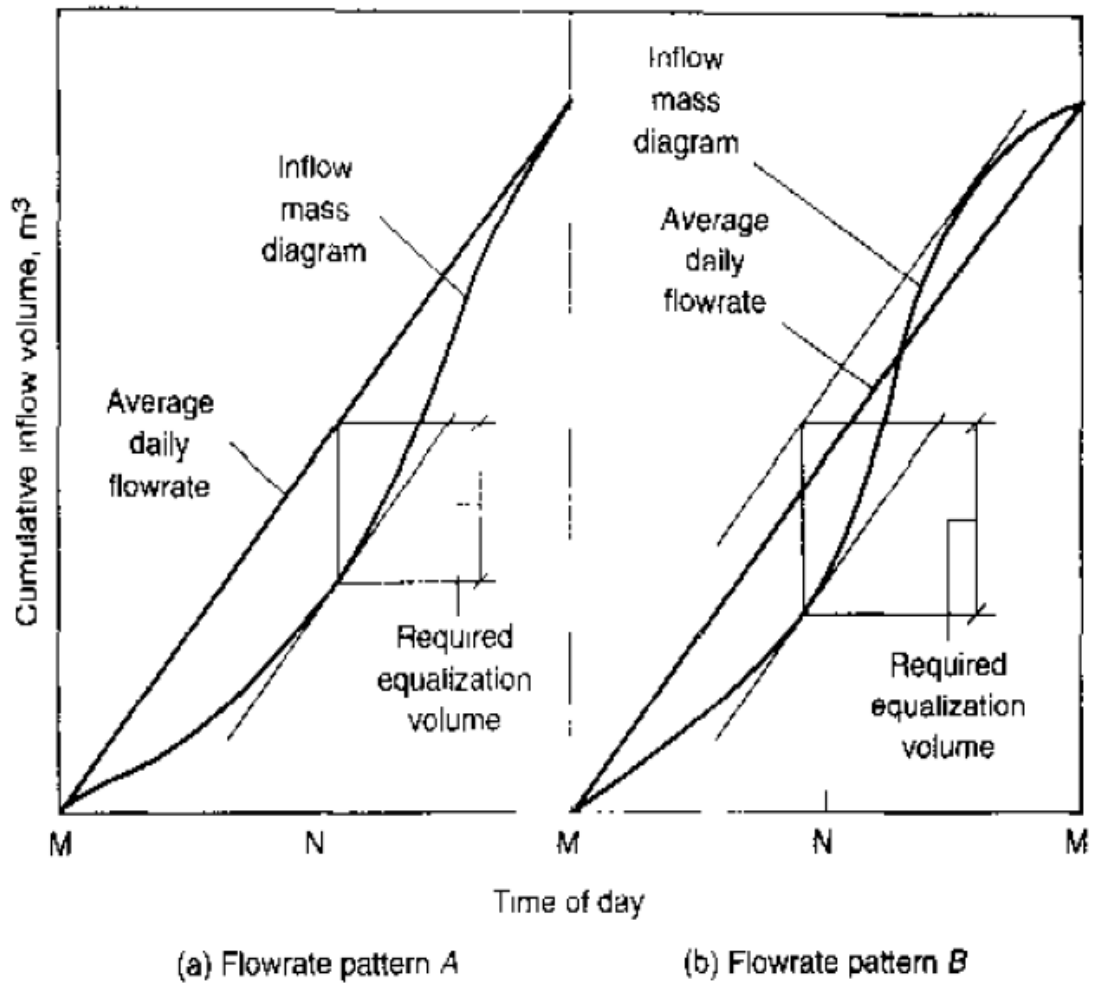


Ilustración 6-20, tipos de curva de volumen diario para diseño de homogeneizadores, (METCALF & EDDY, INC., 1995, pág. 336)

Par este caso en específico el tipo de curva resultó según el tipo B de la Ilustración 6-20 e Ilustración 6-21

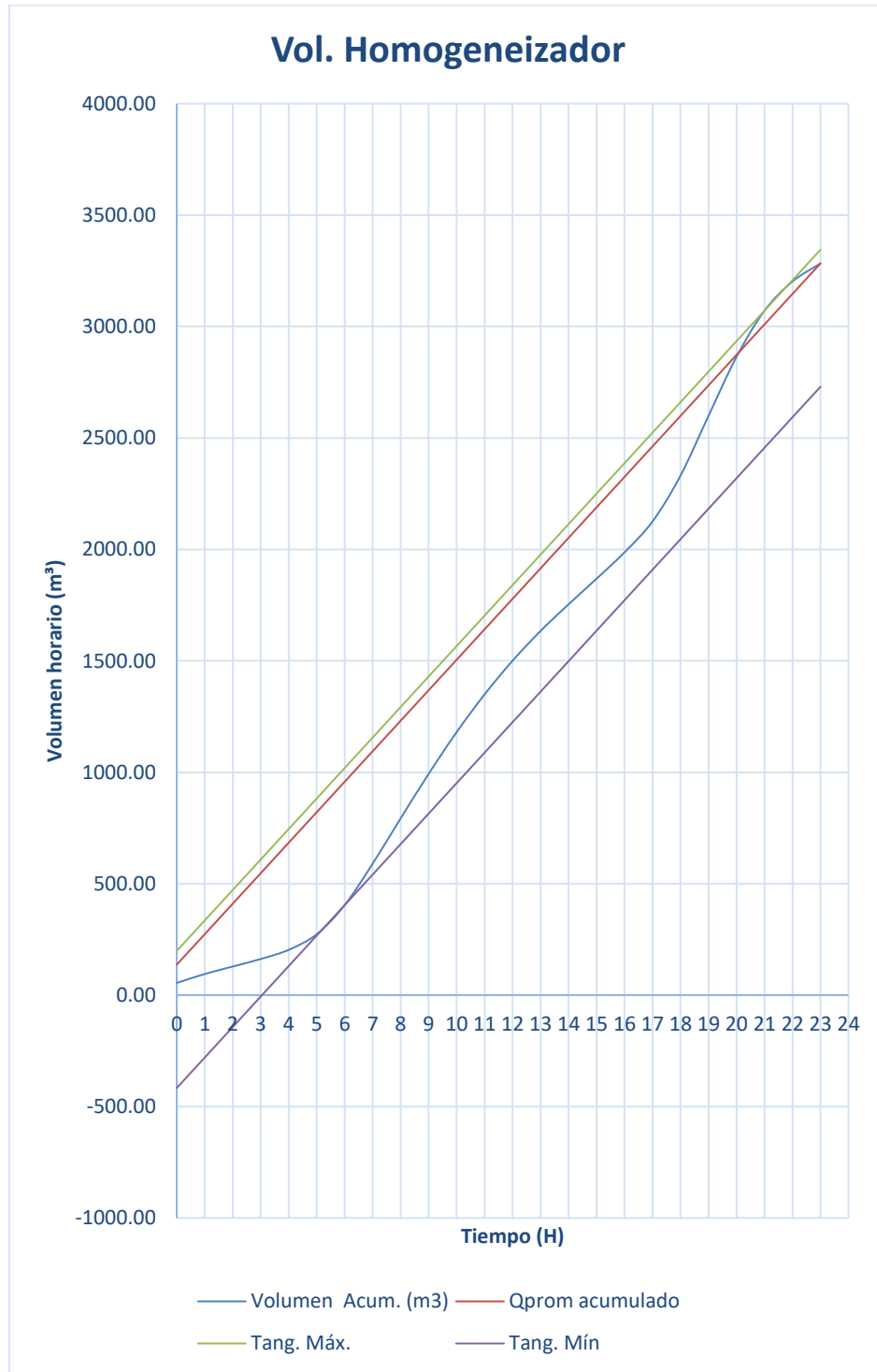


Ilustración 6-21, segundo tipo de gráfico según factores de distribución de caudal

Tabla 6-20, cálculo del volumen

Periodo (hr)		Factor para Q	Q (L/S)	Qmed (M3/S)	Qmed (m3/hr)	Q prom (m3/hr)	Volumen Aflu. (m3)	Volumen Acum. (m3)	Vol. Drenado (m3)	Vol. Drenado Acum. (m3)	Volumen almacenado (m3)
Inicio	Final										
0	1	0.4012	15.246	0.01525	54.89	136.80	54.89	54.89	-81.91	-81.91	-81.91
1	2	0.2918	11.088	0.01109	39.92	136.80	39.92	94.80	-96.88	-178.80	-178.80
2	3	0.2462	9.356	0.00936	33.68	136.80	33.68	128.48	-103.12	-281.92	-281.92
3	4	0.2462	9.356	0.00936	33.68	136.80	33.68	162.16	-103.12	-385.04	-385.04
4	5	0.3009	11.435	0.01143	41.16	136.80	41.16	203.33	-95.64	-480.67	-480.67
5	6	0.5106	19.404	0.01940	69.86	136.80	69.86	273.18	-66.94	-547.62	-547.62
6	7	0.9574	36.383	0.03638	130.98	136.80	130.98	404.16	-5.82	-553.44	-553.44
7	8	1.3587	51.629	0.05163	185.87	136.80	185.87	590.03	49.07	-504.37	-504.37
8	9	1.4863	56.480	0.05648	203.33	136.80	203.33	793.36	66.53	-437.84	-437.84
9	10	1.4590	55.441	0.05544	199.59	136.80	199.59	992.94	62.79	-375.06	-375.06
10	11	1.3678	51.976	0.05198	187.11	136.80	187.11	1180.06	50.31	-324.74	-324.74
11	12	1.2401	47.125	0.04712	169.65	136.80	169.65	1349.70	32.85	-291.90	-291.90
12	13	1.1033	41.927	0.04193	150.94	136.80	150.94	1500.64	14.14	-277.76	-277.76
13	14	0.9757	37.076	0.03708	133.47	136.80	133.47	1634.12	-3.33	-281.08	-281.08
14	15	0.8754	33.264	0.03326	119.75	136.80	119.75	1753.87	-17.05	-298.13	-298.13
15	16	0.8389	31.878	0.03188	114.76	136.80	114.76	1868.63	-22.04	-320.17	-320.17
16	17	0.8663	32.918	0.03292	118.50	136.80	118.50	1987.13	-18.30	-338.47	-338.47
17	18	1.0122	38.462	0.03846	138.46	136.80	138.46	2125.60	1.66	-336.80	-336.80
18	19	1.5046	57.173	0.05717	205.82	136.80	205.82	2331.42	69.02	-267.78	-267.78
19	20	1.9605	74.498	0.07450	268.19	136.80	268.19	2599.62	131.39	-136.38	-136.38
20	21	1.9331	73.459	0.07346	264.45	136.80	264.45	2864.07	127.65	-8.73	-8.73
21	22	1.5137	57.520	0.05752	207.07	136.80	207.07	3071.14	70.27	61.54	61.54
22	23	0.9574	36.383	0.03638	130.98	136.80	130.98	3202.12	-5.82	55.72	55.72
23	24	0.5927	22.523	0.02252	81.08	136.80	81.08	3283.20	-55.72	0.00	0.00

Una vez que se ha obtenido el volumen del homogeneizador, se propone las siguientes dimensiones:

Con un volumen de  $614.98 \text{ m}^3$

Se propone una altura (h) de  $2.50 \text{ m}$

$$\text{área} = \frac{\text{Vol}}{h} = \frac{614.98 \text{ m}^3}{2.50 \text{ m}}$$

$$\text{área} = 245.99 \text{ m}^2$$

se propone una relación  $L = 2b$

$$\text{Á} = b \cdot L$$

Al sustituir tenemos

$$\text{Á} = b \cdot 2b = 2b^2$$

$$b = \sqrt{\frac{\text{Á}}{2}} = \sqrt{\frac{245.99}{2}}$$

$$b = 11.09 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$L = 2 \cdot b$$

$$L = 22.18 \text{ m}$$

En resumen, las dimensiones del tanque homogeneizador se presentan en Tabla 6-21

Volumen	645 m <sup>3</sup>
Altura	2.50 m
Ancho	11.09 m
Largo	22.18 m

Tabla 6-21, dimensión para homogeneizadores

Para evitar malos olores y sedimentación dentro de los tanques, se recomienda colocar una turbina de hélice (figura “d” en la Ilustración 6-22 e Ilustración 6-23) para realizar la mezcla dentro de los tanques homogeneizadores.

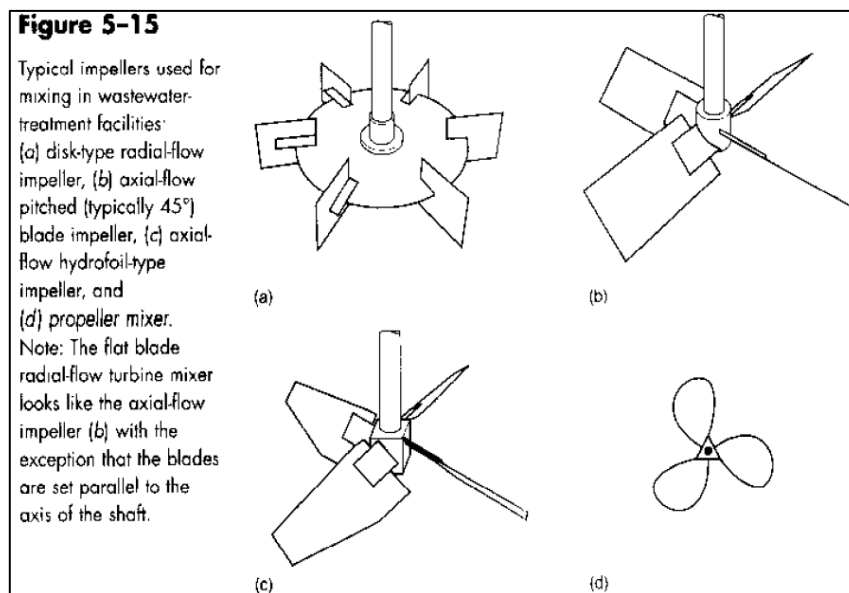


Ilustración 6-22, tipos de mezcladores, (METCALF & EDDY, INC., 1995, pág. 353)



Ilustración 6-23,turbina de hélice perpendicular comercial.

Typical types of mixing impellers used in wastewater treatment<sup>a</sup>

Type of impeller	Flow	Shear	Pumping capacity	Applications
Vertical flat blade turbine (VFBT)	Radial	High	Low	Vertical-flow flash mixing, suspension of solids, gas dispersion
Disk turbine	Radial	High	Low	Mixing, gas dispersion
Surface impeller	Radial	High	Moderate	Gas transfer
Pitched-blade turbine (45 or 32° PBT)	Axial	Moderate	Moderate	Horizontal flash mixing, suspension of solids
Low-shear hydrofoil (LS)	Axial	Low	High	Horizontal-flow flash mixing, suspension of solids, blending, flocculation
Propeller	Axial	Very low	High	Horizontal-flow flash mixing, suspension of solids, blending, flocculation

<sup>a</sup> Adapted, in part, from Philadelphia Mixer Catalog.

Ilustración 6-24, cualidades de los mezcladores, (METCALF & EDDY, INC., 1995)



Como se puede apreciar en la Ilustración 6-24, cualidades de los mezcladores, la turbina de hélice tiene el movimiento de corte más bajo de los mezcladores anteriores, la potencia de este elemento viene dada por la fórmula<sup>14</sup>:

$$P = G^2 \cdot \mu \cdot Vol$$

Donde:

P: Potencia del mezclador [watts=N·m/s]

G: Gradiente de velocidad [ $s^{-1}$ ];  $100 \leq G \leq 500$

$\mu$ : Densidad del agua [ $N \cdot s/m^2$ ];  $25^\circ C = 0.890 \times 10^{-3} [N \cdot s/m^2]$

Vol: Volumen del tanque [ $m^3$ ] = 614.98  $m^3$

Utilizando los valores:

$$G=100 [s^{-1}]$$

$$\mu = 0.890 \times 10^{-3} [N \cdot s/m^2]$$

$$Vol = 614.98 m^3$$

$$P = (100)^2 \cdot (0.890 \times 10^{-3}) \cdot (614.98)$$

$$P = 5,474 \text{ watts}; 1 \text{ HP} = 745.7 \text{ watts}$$

$$P = 8.00 \text{ HP} = 10 \text{ HP}$$

Los datos presentados para el cálculo de la potencia han sido tomados de la Tabla 6-22.

<sup>14</sup> (METCALF & EDDY, INC., 1995, pág. 358)

<b>Parameter</b>	<b>Symbol</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>
Velocity gradient	$G$	1/s	100–500
Rotational speed	$n$	r/min	10–30
Ratio length to width	$L/W$	unitless	$1 \leq L/W \leq 1.25$
Ratio impeller diameter to equivalent tank diameter <sup>b</sup>	$D/T_e$	unitless	0.35–0.45
Ratio height to equivalent tank diameter <sup>b</sup>	$H/T_e$	unitless	0.9–1.1
Tip speed			
Flat-blade turbine	$TS$	m/s	0.6–1.5
Pitch-blade turbine (45 or 32°)	$TS$	m/s	1.8–2.4
Low-shear propeller (3 or 4 blade)	$TS$	m/s	2–2.7
Superficial velocity <sup>c</sup>	$SV$	m/min	1–2

Tabla 6-22, parámetros de diseño para mezclador, (METCALF & EDDY, INC., 1995)

### Dimensionamiento del R.A.F.A.

El Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (R.A.F.A.) es el primer componente de tratamiento biológico dentro del sistema, las partículas orgánicas serán digeridas en esta etapa, lo que producirá lodo y gas metano.

Dentro de las condiciones iniciales a considerar para el dimensionamiento de los RAFA, es que se les dará una altura de 5.00 metros al reactor, y, se considera el diseño para un periodo de retención de 7.5 horas (tiempo mínimo,

(Sperling & Lemos Chernicharo, 2005, pág. 747), como se muestra en la Ilustración 6-25.

Sewage temperature (°C)	Hydraulic detention time (hour)	
	Daily average	Minimum (during 4 to 6 hour)
16 to 19	> 10 to 14	> 7 to 9
20 to 26	> 6 to 9	> 4 to 6
> 26	> 6	> 4

*Source:* Adapted from Lettinga and Hulshoff Pol (1991)

**Ilustración 6-25, tiempos de retención para RAFA, (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005)**

1. El primer paso será encontrar la Carga Hidráulica Volumétrica (CHV), para esto se hará uso de la siguiente relación:

$$CHV = \frac{Q}{Vol}$$

Donde

CVH: Carga Hidráulica Volumétrica [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·D]

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/D] = 38 L/S = 136.80 m<sup>3</sup>/H = 3,283.20 m<sup>3</sup>/D

Vol: Volumen del reactor [m<sup>3</sup>]

La CHV es un parámetro para considerar, debe ser menor o igual a 5, según lo manifiesta el autor (METCALF & EDDY, INC., 1995).

Antes es necesario calcular el volumen del reactor, para hacerlo se utilizará la siguiente relación

$$Vol = T_r \cdot Q$$

Donde

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/H]

Tr: Tiempo de retención; 6H < Tr < 9H

Vol: Volumen del reactor [m<sup>3</sup>]

De esta forma, se elige un tiempo de retención de Tr= 7.5 H

$$Vol = 7.5 H \left( 136.8 \frac{m^3}{H} \right)$$

$$Vol = 1,026.00 m^3$$

Obteniendo finalmente un valor para CHV

$$CHV = \frac{3,283.20 \frac{m^3}{D}}{1,026.00 m^3} = 3.20 \frac{m^3}{m^3 \cdot D}$$

$$CVH = 3.20 \leq 5, OK$$

## 2. Proporción de Carga Orgánica ( $L_v$ )<sup>15</sup>

$$L_v = \frac{Q \cdot S_o}{Vol}$$

Donde

So: Concentración DBO en afluente [0.42kgDBO/m<sup>3</sup>]

Lv: Proporción Orgánica Volumétrica [KgDBO/m<sup>3</sup>·D]

La carga orgánica en el afluente en las aguas residuales domésticas utilizada para este caso es 50 gramos por habitante por día, (Marín Galvín , 2016, pág. 16), por lo tanto, se estima que la concentración en el afluente es

$$S_o = \frac{C_{DBO}}{Dot}$$

Donde

So: Concentración de DBO en el agua [gr/l]

C<sub>DBO</sub>: Carga DBO (50) [gr/hab·d]

Dot.: Dotación (150) [l/hab·d] para agua potable

$$S_o = \frac{50}{(150)(0.8)} = 0.42 \text{ g/l}$$

$$S_o = 0.42 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Volviendo a la carga orgánica volumétrica (Proporción de Carga Orgánica)

---

<sup>15</sup> También conocida como Carga Orgánica Volumétrica (COV)

$$L_v = \frac{Q \cdot S_o}{Vol}$$

$$L_v = \frac{\left(3283.2 \frac{m^3}{D}\right) \left(0.42 \frac{Kg}{m^3}\right)}{1026 m^3}$$

$$L_v = 1.33 \frac{Kg}{m^3 \cdot D}$$

### 3. Velocidad ascendente (v)

$$v = \frac{Q \cdot H}{Vol}$$

Donde

v:	Velocidad ascendente [m/h]
Q:	Caudal [m <sup>3</sup> /h]
Vol.	Volumen [m <sup>3</sup> ]
H:	Altura del reactor [m]

$$v = \frac{\left(136.80 \frac{m^3}{h}\right) (5m)}{1026 m^3}$$

$$v = 0.67 \frac{m}{h}$$

$$0.50 \leq v = 0.67 \leq 0.70 \frac{m}{h}, OK^{16}$$

### 4. Eficiencia del reactor (E)

---

<sup>16</sup> (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005, pág. 749)

La eficiencia en la remoción de la DBO en el reactor viene dada por la siguiente ecuación.

$$E_{DBO} = 100\%(1 - 0.7 \cdot T_r^{-0.5})$$

Donde

Tr: Tiempo de retención [h]

De esta manera, al sustituir los valores tenemos:

$$E_{DBO} = 100\%(1 - ((0.7)(7.5)^{-0.5}))$$

$$E_{DBO} = 74.44\%$$

## 5. Remoción de DBO

La remoción de la DBO, o, dicho de otra forma, la DBO en el efluente viene dada por la relación

$$C_{ef} = S_o - \frac{(E)(S_o)}{100}$$

Donde

C<sub>ef</sub>: Concentración de DBO en el efluente [mg/l]

S<sub>o</sub>: Concentración de DBO en el afluente [mg/l]

E: Eficiencia del RAFA [%]

$$C_{ef} = 416.67 \frac{mg}{l} - \frac{(74.44\%)(416.67 \frac{mg}{l})}{100\%}$$

$$C_{ef} = 106.50 \frac{mgDBO}{l}$$

## 6. Sólidos suspendidos (Ss)

La concentración de sólidos suspendidos en el afluente del reactor se puede encontrar con la relación (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005, pág. 752)

$$S_{sef} \left[ \frac{mg}{L} \right] = 102 (T_r)^{-0.24}$$

Donde

$S_{sef}$ : Concentración de sólidos suspendidos en el efluente [mg/l]

$T_r$ : Tiempo de retención [h]; 102 y 0.24 son constantes empíricas

$$S_{sef} = 102 (7.5)^{-0.24}$$

$$S_{sef} = 62.89 \frac{mg}{L}$$

## 7. Dimensiones del reactor

Con los datos anteriores, y considerando una relación, largo sobre ancho (L/B) de 2, una altura de 5 metros y un tiempo de retención de 7.5 horas, se tiene:

$$Vol = 1,026.00 m^3$$

Encontrando el área longitudinal del reactor



$$\text{área} = \frac{\text{Vol}}{h} = L \cdot B$$

Donde

h:                      Altura propuesta del reactor [m]

$$\text{área} = \frac{1,026.00 \text{ m}^3}{5.00 \text{ m}}$$

$$\text{área} = 205.20 \text{ m}^2$$

Encontrando las dimensiones del reactor

$$\frac{L}{B} = 2$$

$$L = 2 \cdot B$$

$$\text{Área} = L \cdot B$$

Sustituyendo L

$$\text{Área} = 2B \cdot B$$

$$\text{Área} = 2B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{\text{Área}}{2}} = \sqrt{\frac{205.20}{2}} = 10.1292 \text{ m}$$

$$B = 10.1292 \text{ m} \cong 11.00 \text{ m}$$

$$L = 20.2584 \text{ m} \cong 21.00 \text{ m}$$

Recalculando para las dimensiones propuestas:

Largo (L) = 21 m

Ancho (B) = 11 m

Altura (H) = 4.50 m

$$\text{Volumen} = (L \cdot B \cdot H) = (21 \cdot 11 \cdot 4.5)$$

$$\text{Volumen} = 1,039.50 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo de retención (Tr)} = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} [\text{hr}]$$

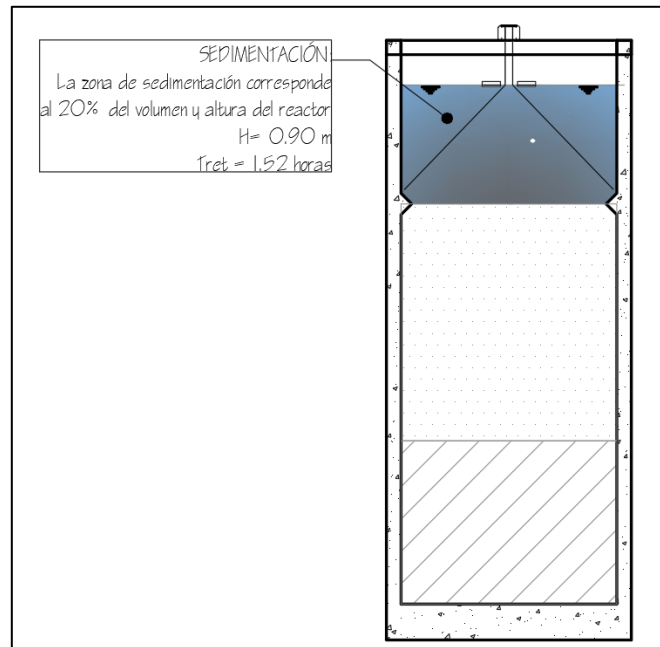
$$\text{Tr} = \left( \frac{1,039.5 \text{ m}^3}{136.8 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}} \right) = 7.60 \text{ hr} < 8 \text{ hr}; \text{OK}$$

**Tiempo de retención = 7.60 horas**

Según (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005), la longitud de los deflectores debe de estar entre 10 y 15 centímetros, así mismo, la distancia de traslape entre los deflectores y el separador tri-fase también debe de ser entre 10 y 15 centímetros.

En cuanto a la altura de la zona de sedimentación, (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005) recomienda una altura entre 1.5 y 2 metros, sin embargo (Ayala Durán & Díaz Castillo, 2008), menciona que la zona de sedimentación debe de ser al menos un 20% del volumen del reactor, por lo tanto, para este caso, se utilizará una altura de 0.90 metros.

8. Separador tri fase, para dimensionar la sección de separación de gases se tendrán las siguientes condiciones, (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005):



**Ilustración 6-26, zona de sedimentación**

- La altura de esta zona debe estar entre 1.5 y 2.0m metros, para este caso en particular se utiliza 1.50 metros
- El traslape entre el separador y los deflectores, debe de ser entre 10 y 15 centímetros, se ha utilizado 0.15 metros
- El ángulo del separador debe de estar entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$

Se propone una altura de 1.50 metro para el separador tri-fase, mientras que, el ancho que deberá tener el separador se estima con la siguiente relación:

$$b' = b - 2(x - x')$$

Donde

- b': Ancho del separador [m]  
 b: Distancia entre los deflectores [m] = 3.00m  
 x: Longitud del deflector [m] = 0.15 m  
 x': Traslape entre el separador y el deflector [m] = 0.10 m

$$b' = 3.00 - 2(0.15 - 0.10)$$

$$b' = 2.90 \text{ m}$$

La pendiente del separador debe de ser como mínimo 45°, y para un óptimo funcionamiento entre 50 y 60°

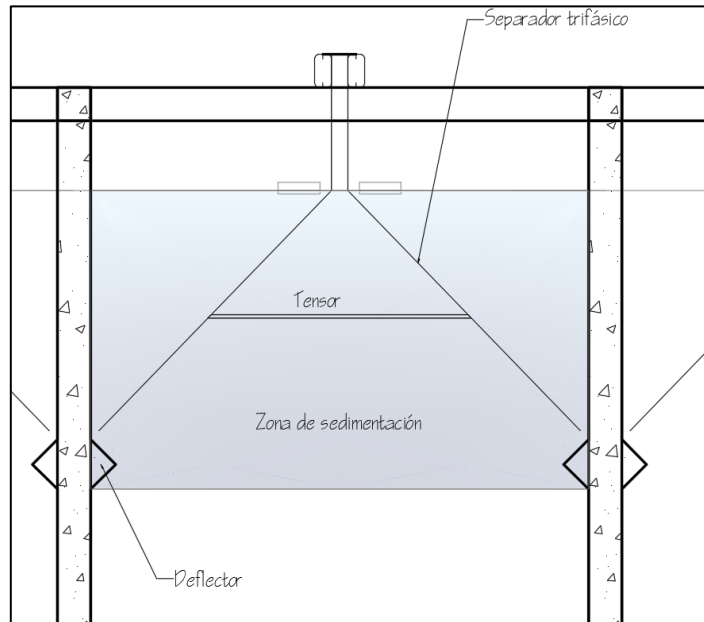
$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{b'} = \tan^{-1} \frac{1.50}{2.90} = 45.97^\circ$$

$$45^\circ < \theta = 45.97^\circ < 60^\circ, OK$$

El tiempo de retención en la zona de sedimentación debe ser entre 1 y 2 horas para evitar malos olores

$$T_r = \frac{Vol_{sed}}{Q_{med}} = \frac{(20\%)(vol)[m^3]}{136.8 \left[ \frac{m^3}{h} \right]} = 0.2 \left( \frac{1,039.5}{136.8} \right) hr$$

$$1 \text{ hr} < T_r = 1.52 \text{ hr} < 2 \text{ hr}; ok$$



**Ilustración 6-27, separador trifásico de RAFA**

Finalmente se dimensionará la sección de recolección de lodos, que viene dada por las siguientes relaciones:

$$P_s = Y \cdot CHVD$$

Donde

$P_s$ : Producción de sólidos en el sistema [KgDBO/D]

$Y$ : Coeficiente de producción de sólidos, entre 0.1 y 0.2

$CHVD$ : Carga hidráulica volumétrica de DBO diaria [Kg DBO/D]

$$P_s = 0.1(3.12)$$

$$P_s = 0.31 \text{ Kg/D}$$

El volumen de lodos producido por el reactor es:

$$V_s = \frac{P_s}{\gamma \cdot \frac{C_s}{100}}$$

Donde:

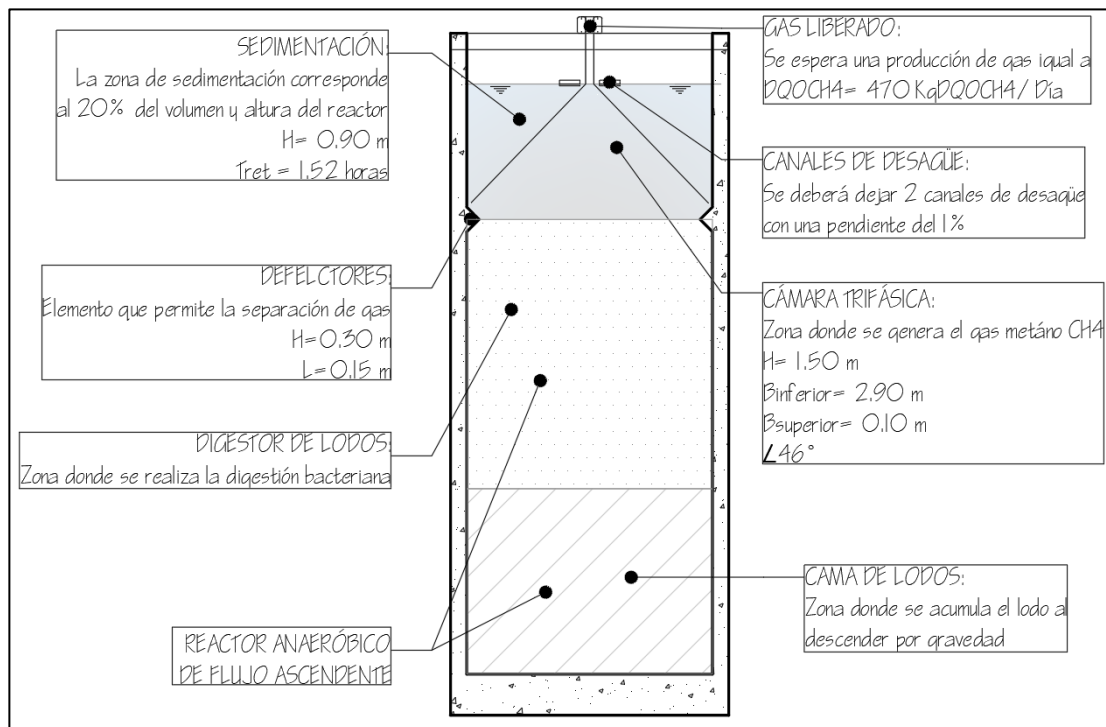
$V_s$ : Volumen producido [ $m^3/D$ ]

$\gamma$ : Densidad de los lodos, entre 1.02 y 1.04  $Kg/m^3$

$C_s$ : Concentración de sólidos en los lodos, entre el 20 y el 25%

$$V_s = \frac{0.31}{1.03 \left( \frac{20}{100} \right)}$$

$$V_s = 1.51 \frac{m^3}{D}$$



## Dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente FAFA

En el caso de diseño de un FAFA como unidad de postratamiento, se calcula la carga hidráulica superficial.

Parámetro de diseño	Rango de valores como una función del gasto		
	Q promedio	Q máximo diario	Q máximo horario
Medio de empaque	Piedra	Piedra	Piedra
Altura del medio filtrante (m)	0.8 a 3.0	0.8 a 3.0	0.8 a 3.0
Tiempo de residencia hidráulica (horas)	5 a 10	4 a 8	3 a 6
Carga hidráulica superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> d)	6 a 10	8 a 12	10 a 15
Carga orgánica volumétrica (kg BDO/m <sup>3</sup> d)	0.15 a 0.50	0.15 a 0.50	0.15 a 0.50
Carga orgánica en el medio filtrante (kg BDO/m <sup>3</sup> d)	0.25 a 0.75	0.25 a 0.75	0.25 a 0.75

**Tabla 6-23, Criterios de diseño para filtros anaerobios aplicables para el post tratamiento de efluentes de reactores anaerobios, (Comisión Nacional del Agua, 2018)**

Datos de diseño

$$Q_{med} = 136.80 \frac{m^3}{h} = 3,283.20 \frac{m^3}{D}$$

Tiempo de retención hidráulica TRH=10hrs

Volumen de filtro

$$V = Q(TRH) = 136.8(10) = 1,368.00 m^3$$

Altura total del filtro

H=altura de fondo + altura de empaque + borde libre

altura de fondo 0.60 m

altura de empaque 2.50 m

borde libre = 0.90 m

$$H = 0.9 + 2.5 + 0.6 = 4.00 \text{ mts}$$

Área del filtro

$$A = V/H = 1,368.00/4 = 342.00 \text{ m}^2$$

Se propone un largo y ancho de 18.5 metros

Volumen del medio filtrante

$$V_{mf} = A(\text{altura del empaque}) = 342 (2.5) = 855.00 \text{ m}^3$$

Carga hidráulica superficial

$$CHS = \frac{Q}{A} = \frac{3283.20 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{342 \text{ m}^2} = 9.60 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}}$$

Carga orgánica volumétrica

$$COV = \frac{(Q)(DBO_{afl})}{V} = \frac{\left(\frac{3,283 \text{ m}^3}{\text{d}}\right) \left(\frac{0.106 \text{ Kg DBO}}{\text{m}^3}\right)}{1,368 \text{ m}^3} = 0.25 \text{ Kg DBO/m}^3 \text{d}$$



Carga orgánica del lecho filtrante

$$COV_{mf} = \frac{(3,283.20m^3) \left( \frac{0.106KgDBO}{m^3} \right)}{855 m^3} = 0.40 Kg DBO/m^3d$$

Remoción en el filtro anaerobio

$$EDBO = 100(1 - 0.87T^{-0.5}) = 100(1 - 0.87(10)^{-0.5}) = 72.49\%$$

$$DBO_{ef} = 105.81 - \frac{72.49(204.48)}{100} = 29.11 mgDBO/L$$

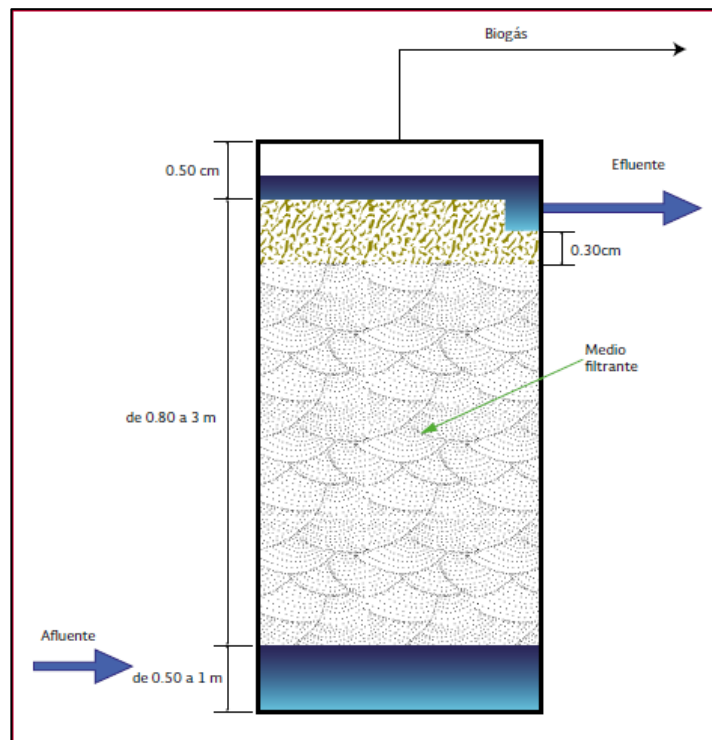


Ilustración 6-28, Criterios de dimensionamiento de un FAFA, (Comisión Nacional del Agua, 2018)

### Dimensionamiento de laguna de maduración

Proponiendo dimensiones considerando el espacio disponible tenemos:

Largo = 130.00 metros

Ancho: 5 canales de 10 metros de ancho cada uno

Altura = 1.50 metros

$$Volumen = (Largo)(Ancho)(Altura)$$

$$Volumen = (130m)(50m)(1.5m)$$

$$Volumen = 9750.00 \text{ m}^3$$

Periodo de maduración (Pm)

$$P_m = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} = \frac{9,750 \text{ m}^3}{3,283.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \cong 3 \text{ días}$$

Remoción de DBO

$$\frac{l_e}{l_a} = \frac{4ae^{\left(\frac{1}{2d}\right)}}{(1+a)^2 e^{\left(\frac{a}{2d}\right)} - (1-a)^2 e^{\left(\frac{-a}{2d}\right)}}$$

Donde:

$l_e$ : DBO en el efluente

$l_a$ : DBO en el afluente

$$a = [1 + 4K_T \theta_m d]^{1/2}$$

$$K_T = K_{20^\circ} (1.09)^{T-20}; K_{20} = 0.60$$

$0.6 \leq K_{20} \leq 1$ , (Ayala Durán & Díaz Castillo, 2008),

Constante de difusividad o factor de dispersión adimensional, que es una característica de cada laguna.

$$K_t = K_{20^\circ C} \cdot 105^{(T-20^\circ C)}$$

$$K_t = (0.6)(105^{(25-20)})$$

$$K_t = 0.7768 \text{ día}^{-1}$$

$$d = \frac{\left(\frac{L}{A}\right)}{-0.26118 + 0.25392 \left(\frac{L}{A}\right) + 1.101368 \left(\frac{L}{A}\right)^2}$$

$$d = 0.0745 \text{ día}^{-1}$$

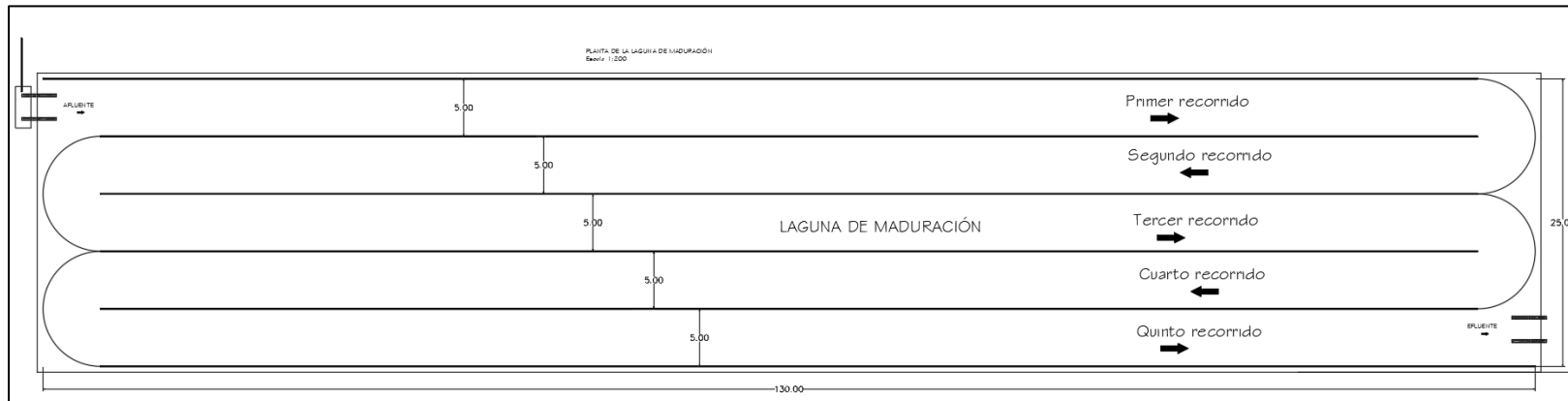
$$a = [1 + 4(K_t)(P_m)(0.3)]^{1/2} = 1.26$$

$$\frac{l_e}{l_a} = \frac{4ae^{\left(\frac{1}{2d}\right)}}{(1+a)^2 e^{\left(\frac{a}{2d}\right)} - (1-a)^2 e^{\left(\frac{-a}{2d}\right)}}$$

$$\frac{l_e}{l_a} = \frac{4(1.26)e^{\left(\frac{1}{2(0.07)}\right)}}{(1+1.26)^2 e^{\left(\frac{1.26}{2(0.07)}\right)} - (1-1.26)^2 e^{\left(\frac{-1.26}{2(0.07)}\right)}}$$

$$\frac{l_e}{l_a} = 0.009341$$

$$l_e = 0.009341 l_a = 0.009341(29.11) = 0.26 \text{ mg/L}$$



**Ilustración 6-29, recorrido y sentido del flujo del agua en la laguna de maduración**

Eliminación de patógenos:

La misma ecuación utilizada para la remoción de patógenos y utilizando como Número más probable =  $1 \times 10^{12}$  según (METCALF & EDDY, INC., 1995)

De este modo se obtiene que para recorrido se obtiene un factor de 0.009341

Por lo tanto

$$1 \text{ recorrido: } N_p = 0.009341 (1E^{12}) = 9.34 \times 10^9$$

$$2 \text{ recorrido: } N_p = 0.009341 (9.341 \times 10^9) = 8.73 \times 10^7$$

$$3 \text{ recorrido: } N_p = 0.009341 (8.73 \times 10^7) = 8.15 \times 10^5$$

$$4 \text{ recorrido: } N_p = 0.009341 (8.15 \times 10^5) = 7.61 \times 10^3$$

$$5 \text{ recorrido: } N_p = 0.009341 (7.61 \times 10^3) = 71.11$$

A partir del 4° recorrido<sup>17</sup> la eliminación de patógenos es suficiente para obtener valores por debajo de los que permite la norma (NMP=  $1 \times 10^4$ )

### **Dimensionamiento de campos de secado**

Para el diseño de los campos de secado se utilizarán los siguientes parámetros tomados de (Sperling & Lemos Chernicharo, 2005)

Tasa de carga de sólidos suspendidos (SS)

$$SS = 15 \text{ [KgST/m}^2\text{]}$$

Producción de lodos (C<sub>ss</sub>)

$$C_{ss} = 15 \text{ [gr/hab. D]}$$

---

<sup>17</sup> Los recorridos se muestran en la Ilustración 6-29

Carga volumétrica (Cvss)

$$Cvss = 0.40 \text{ [L/hab. D]}$$

Carga de sólidos (Ms)

$$Ms = \frac{\text{población}}{\text{producción de lodos}} = \frac{27010}{\left(\frac{15gr}{habD}\right)\left(\frac{1kg}{1000gr}\right)} = 405.15 \left[\frac{KgSS}{hab D}\right]$$

Caudal de sólidos (Qs)

$$Qs = \frac{\text{población}}{\text{carga volumétrica}} = \frac{27010}{\left(\frac{0.4L}{hab D}\right)\left(\frac{1m^3}{1000L}\right)} = 10.804 \frac{m^3}{D}$$

Tiempo de operación (TL)

$$TL = 20 \text{ días}$$

Volumen de lodo por ciclo (Vs)

$$Vs = (\text{caudal de sólidos})(\text{tiempo de operación})$$

$$Vs = \left(10.804 \frac{m^3}{D}\right)(20 D) = 216.08 m^3$$

Área del patio de secado (Aps)

$$Aps = \frac{(\text{carga de sólidos})(\text{tiempo de operación})}{\text{tasa de carga de sólidos}}$$

$$A_{ps} = \frac{\left(405.15 \frac{KgSS}{D}\right) (20 D)}{15 \frac{KgST}{m^2}} = 540.20 m^2$$

Se proponen 10 cámaras, por lo tanto

Área por cámara ( $A_{cs}$ )

$$A_{cs} = \frac{A_{ps}}{\#de\ cámaras} = \frac{540.20}{10} = 54.02 m^2$$

Relación largo/ancho ( $R\ L/A$ ) = 1.5

Ancho de cámara ( $B_{cs}$ )

$$B_{cs} = \sqrt{\left(\frac{A_{cs}}{R\ \frac{L}{A}}\right)} = \sqrt{\left(\frac{54.20}{1.5}\right)} = 6.00 m$$

Largo de cámara ( $L_{cs}$ )

$$L_{cs} = 6.00(1.5) = 9.00 m$$

Altura de lodos en las cámaras ( $H_{ps}$ )

$$H_{ps} = \frac{\text{volumen de lodos}}{\text{área de patios}} = \left(\frac{Vs}{A_{ps}}\right) = \frac{216.08}{540.20} = 0.40 m$$

## **7 CAPÍTULO VII: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

### **Especificaciones técnicas del alcantarillado sanitario**

#### 7.1.1 Trazo y nivelación

Este trabajo consiste en colocar el estacado necesario y suficiente para identificar en el terreno los ejes de la tubería, estructuras principales y obras complementarias, así como también las longitudes, anchos y niveles para ejecutar las excavaciones como se indica en los planos. Esto debe realizarse antes de iniciar el desmonte, limpieza, descapote o ruptura de pavimentos.

El constructor deberá realizar los trabajos topográficos necesarios para el trazo y replanteo de la obra, tales como: ubicación y fijación de ejes y líneas de referencia por medio de puntos ubicados en elementos inamovibles, las instalaciones existentes de agua potable, ductos telefónicos enterrados, postes de energía eléctrica y de teléfonos, etc.

Los niveles y cotas de referencia indicados en los planos se fijan de acuerdo con estos y después se verificarán las cotas del terreno, etc.



El constructor no podrá continuar con los trabajos correspondientes sin que previamente se aprueben los trazos. Cualquier modificación en los perfiles deberá recibir previamente la aprobación de la supervisión.

El costo de ejecución de los trabajos de topografía dependerá del área y del relieve de la región.

#### 7.1.2 Excavaciones de zanjas

Las excavaciones de las zanjas son donde se instalarán las tuberías para los colectores y las excavaciones necesarias para la construcción de pozos de visitas y mostrados en los planos.

La excavación podrá hacerse a mano o utilizando maquinaria. Si se emplea equipo mecánico, la excavación deberá estar próxima a la pendiente de la base de la tubería, dejando la nivelación del fondo de la zanja por cuenta de la excavación manual.

Las zanjas que van a recibir los colectores se deberán excavar de acuerdo con una línea de eje (coincidente con el eje de los colectores), respetándose el alineamiento y las profundidades indicadas en los perfiles de los planos.

Diámetro nominal		Ancho de zanja
Cm	Pulg.	Cm
15.24	6.00	55.24
20.32	8.00	60.32
25.40	10.00	65.40
30.48	12.00	70.48
38.10	15.00	78.10

**Tabla 7-1 Ancho de zanja a excavar según diámetro de tubería.**

El ancho de las zanjas dependerá del tamaño de los tubos, En la Tabla 7-1, se presenta valores de ancho recomendables en función a la profundidad y diámetro de la tubería.

El ancho de la zanja debe ser igual al diámetro de la tubería más 0.20cm por lado.

El material excavado deberá ser colocado a una distancia que no comprometa la estabilidad de la zanja y que no propicie su regreso a la misma, sugiriendo una distancia del borde de la zanja equivalente a la profundidad del tramo no ademado y no menor de 40 cm.

Las excavaciones para los pozos de visita deben tener las dimensiones de diseño aumentadas del espacio debido al ademado y a las formas, en caso sean necesarias.

Los taludes de las excavaciones deben ser verticales o inclinados hacia el exterior si es necesario para su estabilidad. El contratista debe proteger las excavaciones de posibles derrumbes que pudieran ocasionar daños al personal que labora en el proyecto, así como a la misma excavación.

Cuando se hagan zanjas en terrenos inestables y/o, profundidades mayores de 2 metros o con piedras que sobresalgan de las paredes del zanjo, se realizará ademado de madera que soporten los empujes causados por derrumbes de las paredes de la zanja. Las características, y formas serán definidas por el Supervisor, y el Contratista, siendo este el único responsable de los daños y perjuicios que directa o indirectamente se deriven por fallas de los ademados. Todos los gastos de compra de materiales de construcción, instalación y desmontaje de estos correrán por cuenta del Contratista.

La medición y forma de pago será por metro cúbico de excavación, tanto manual como de forma mecánica.

### 7.1.3 Compactación de zanjas

Una vez colocadas, alineadas las tuberías y aprobadas por el interventor, así como terminada la construcción de obras complementarias tales como pozos, el contratista procederá a colocar los rellenos necesarios con su correspondiente compactación.

El primer relleno compactado que comprende a partir de la cama de apoyo de la tubería, hasta

0.20 m constituido por material selecto, se colocará en capas de 0.10 m de espesor terminado, desde la cama de apoyo compactándolo íntegramente con pisones manuales de peso aprobado, teniendo cuidado de no dañar la tubería y/o estructura.

El segundo relleno compactado, entre el primer relleno y la sub-base, se harán por capas no mayores de 0.15 m de espesor, compactándolo con vibropisonadores, planchas y/o rodillos vibratorios. No se permitirá el uso de pisones u otra herramienta manual.

En el caso de zonas de trabajo donde existan pavimentos y/o veredas, el segundo relleno estará comprendido entre el primer relleno hasta el nivel superior del terreno.

La compactación se deberá ejecutar de tal manera que la densidad obtenida sea de acuerdo con la densidad según norma T-180 de la AASHTO (ASTM D 1557) con el fin de conseguir una compactación mínima del 90% del Proctor. Determinado en el laboratorio para el material que esté usándose.

Se deberá ejercer un cuidado especial para obtener una adherencia efectiva entre las diferentes capas, entre el terreno excavado y las capas de relleno.

Todo material sobrante de la excavación o demolición deberá ser retirado de la obra por el contratista en volqueta con carpa, en el menor tiempo posible. El material será depositado en el sitio autorizado por el municipio, el cual será informado a través de la Supervisión.

#### 7.1.4 Albañilería

El trabajo de esta sección incluye la provisión de todos los materiales, mano de obra, equipo, servicios y cualquier otro trabajo necesario para la ejecución de todas las obras de concreto simple o reforzado, según se indica en los planos y estas especificaciones.

##### 7.1.4.1 Pozos de visita

Los pozos de visita se construirán conforme a lo indicado en los planos. Los pozos constan de las siguientes partes:

- Base del pozo
- Media caña
- Cilindro Principal
- Chimenea o cono de acceso

- Otros elementos: escalones de barras de acero y tapaderas.

El pozo se utilizará, sin importar el diámetro de las tuberías a él conexas, para profundidades menores de 6.0m. El diámetro interno de los pozos será de 1.80m. La base del pozo será construida en concreto armado con espesor de 0.20m., mientras que el cilindro principal y la chimenea de acceso serán contruidos en mampostería de ladrillo.

La mampostería de ladrillo de obra será tipo trinchera como se muestra en los planos y el mortero utilizado será de 1:4. Además las paredes interiores llevarán repello con mortero 1:2.

Además, se construirán cajas de sostén en los pozos de visita siempre que el desnivel entre cualquier tubería de entrada y el fondo exceda de 1.0m.

Se colocarán estribos con barras de acero de 5/8" de diámetro para habilitar las escaleras de acceso. Además, se colocará tapaderas de hierro fundido de 0.6m de diámetro.

Los pozos de visita deben cumplir con las pruebas de infiltración y estanqueidad especificada por el supervisor del proyecto.

La medición y forma de pago para los pozos de visita será por metro lineal o por unidad, dependiendo de la parte del pozo que se ha construido.

#### 7.1.4.2 Materiales, morteros, concreto y encofrados

##### **Cemento**

Todo el cemento usado en los trabajos será cemento Portland, Tipo I y estará de acuerdo con los requisitos de "ASTM-C150.

El cemento será entregado en bolsas fuertes y seguras, y será almacenado en un depósito seco protegido de la intemperie, con piso de madera elevado, por lo menos en plataformas de 15cm sobre la superficie del suelo. Además, no se permitirán pilas de más de 10 bolsas de cemento ni se admitirá que lleguen bolsas rotas

Si el almacenaje del cemento se extendiera por un período superior a cuatro meses, el Contratista suministrará certificados de prueba de una firma reconocida, que confirmen que puede usarse en la obra.

##### **Agregados**

Los agregados para el concreto son: el agregado grueso y el agregado fino, los cuales deberán cumplir con las normas ASTM C 33.

Los agregados necesarios serán combinados en tales proporciones para obtener una graduación satisfactoria. La curva de graduación deberá permanecer dentro de los límites que sonequivalentes a la tabla 2 de la norma ASTM C 33.

El agregado grueso deberá ser de piedra triturada, no se aceptará que presente aspecto laminar. El tamaño máximo de los agregados no será mayor de  $1 \frac{1}{2}$  veces la dimensión más angosta entre los lados de los encofrados, ni  $\frac{3}{4}$  de la separación entre las barras o paquetes de barras de refuerzo.

El agregado fino será arena de granos duros, carente de impurezas, su módulo de finura deberá estar entre 2.3 y 3.0.

Todos los agregados que se utilicen en la obra deberán almacenarse en un lugar que tenga piso de concreto y buen drenaje, de manera que se evite la contaminación del material con el suelo o la mezcla accidental entre los diferentes agregados.

### **Agua para mezcla**

El agua utilizada en la mezcla y en la cura del hormigón, deberá ser fresca, limpia y libre de materiales perjudiciales, tales como, aguas negras, aceite,



ácidos, materiales alcalinos, materiales orgánicos u otras sustancias perjudiciales.

### **Ladrillos de barro**

Los ladrillos deberán ser sólidos, sanos, bien formados, de tamaño uniforme y sin grietas o escamas. Deberán cumplir con las normas ASTM C-62 Y C-67.

Los ladrillos serán contruidos a máquina o a mano, bien cocidos, de dimensiones 7cm x14cm x 28cm y resistencia a la ruptura por compresión igual o mayor de 80Kg/cm<sup>2</sup>. El mortero a utilizar tendrá una proporción cemento arena de 1:4

### **Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo consistirá en barras de sección circular corrugadas de acuerdo con la norma ASTM A 615, de Grado 40 con refuerzo de fluencia de 2800kg/cm<sup>2</sup>.

La prueba de calidad se realizará por medio de ensayos a tensión tomando tres muestras decada lote de diferentes diámetros, con una longitud de 90cm.

### **Diseño de mezclas de concreto**

Cuando el concreto es fabricado en obra, el diseño de la mezcla de éste debe realizarse en un laboratorio designado por la Supervisión, cuya función es

velar por el control de calidad del concreto colocado, tomando muestras cilíndricas y sometiéndolas a pruebas de compresión.

La resistencia cilíndrica a la compresión requerida por el proyecto es de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Esta resistencia deberá ser comprobada por medio de especímenes preparados, curados y sometidos a prueba de conformidad con las normas American Society for Testing and Materials (ASTM) C 31, C39, C 172. Por lo menos se harán tres cilindros por cada 12 metros cúbicos o de acuerdo con las necesidades de la obra. De las tres muestras una se someterá a la prueba de compresión a los 7 días y las otras dos se probarán a los 28 días, excepto cuando se usare algún aditivo acelerante, en cuyo caso las edades de prueba serán 3 y 14 días respectivamente.

La aceptación del concreto en cuanto a su resistencia se hará en base al American Concrete Institute (ACI-318). Los cilindros deberán tener el 10% más que la resistencia requerida. Se asume que la resistencia a los 7 días corresponde al 70% de la resistencia a los 28 días.

Sin embargo, si persiste la duda, se procederá a la extracción y prueba de núcleos de concreto endurecido, según la norma ASTM C 42, y los huecos se rellenarán con mortero epóxico.

- Transporte del concreto

El concreto se trasladará hasta el elemento a colar, por métodos que prevengan la segregación o pérdida de materiales.

- Colocación del concreto

Se colocará el concreto de tal manera que se evite la segregación de los materiales pétreos, para esto se podrá hacer uso de vibradores de inmersión, teniendo cuidado que la vibración no sea demasiado prolongada provocando segregación.

- Curado del concreto

Al concreto debe protegerse con una capa de agua o algún recubrimiento que garantice un curado efectivo durante un período mínimo de 7 días, mientras se efectúa el proceso de fraguado de éste.

### **Mortero**

El mortero a utilizar será de tipo ordinario. Por lo tanto, la mezcla para mortero cemento – arena en proporción al volumen será 1:4 para el pegado de ladrillos de obra; para el repello de las paredes de ladrillo su dosificación corresponde a 1:2.

### **Repello**

El repello de los pozos será de mortero en proporción 1:2 y comprenderá todas las superficies interiores. Antes del repello se picará y humedecerán las juntas y las superficies en que quedará aplicado. El repello interior tendrá un espesor mínimo de un centímetro y medio (1 ½) y se terminará siempre con llana o regla.

El mortero se aplicará en forma continua para no dejar juntas y será necesario al estar terminado, curarlo, durante un período de tres días continuos.

Los repellos al estar terminados deben quedar nítidos, limpios, sin manchas, parejos, aplomo, sin grietas, o irregularidades y con las aristas vivas.

### **Encofrados**

Los encofrados se usarán donde sea necesario para confinar el concreto, darle forma de acuerdo con las dimensiones requeridas. Los encofrados deberán ser madera; y deberán construirse de tal manera de obtener las dimensiones de los elementos estructurales que se indican en los planos.

Los encofrados deberán tener buena resistencia y rigidez. Serán inspeccionados inmediatamente antes de la colocación del concreto. Las dimensiones y cotas se controlarán cuidadosamente y se corregirán todos los

errores que en ella se presenten antes de iniciar las operaciones de vaciado del concreto.

El interior de los encofrados se limpiará para eliminar cualquier residuo de virutas, mortero de vaciados anteriores y en general todo material extraño a los tableros y a la estructura.

Para facilitar el curado de los concretos y para permitir las reparaciones de las imperfecciones de las superficies, se retirarán los encofrados tan pronto como el concreto haya fraguado lo suficiente para evitar daños durante el retiro de estas.

#### 7.1.5 Suministro e instalación de tubería de PVC

La tubería a utilizar en las redes de alcantarillado sanitario deberá satisfacer una de las normas siguientes:

ASTM-F891, ASTM-D3034; ASTM-F949; ASTM-F679; ASTM-F477; ASTM-D3212; ASTM-F2736; ASTM-F2764; ASTM-F2762; ASTM-F2763; ASTM-D2680; ASTM-A746.

Las normas anteriores deberán ser en su versión posterior al año 2000.

La rigidez mínima de la tubería deberá ser de 46 PSI. El tipo de tubería a utilizar será la definida en el formato de plan de oferta.

#### 7.1.5.1 Colocación de tuberías a lo largo de la línea

Cuando se alineen las tuberías fuera de la zanja, deberán ser fijadas con sacos de arena a lo largo del eje de instalación. Deberán colocarse de acuerdo con la pendiente de diseño o las instrucciones de la supervisión, no se permitirá colocar tubería con inclinaciones diferentes a la pendiente del tramo o sobre lugares donde no ofrezca estabilidad a la tubería a ser instalada.

Esta deberá ser depositada a lo largo del eje y no debe interferir con el desarrollo normal del trabajo o con el paso del equipo, vehículos, etc.

Con La tubería PVC esta deberá ser transportada al lugar de la obra solamente hasta que se comiencen trabajos de excavación y así evitar que pase mucho tiempo expuesto.

La Contratista será responsable de la colocación de las tuberías y accesorios en las localizaciones correctas.

En caso de zonas de tráfico vehicular, se deberá tomar las precauciones del caso, de manera que no se obstaculice en períodos largos el libre paso de

vehículos y peatones. El Supervisor, a su criterio, podrá autorizar bajar la tubería directamente de los equipos de transporte al fondo de la zanja.

#### 7.1.5.2 Comprobación de rasante de instalación

Antes de bajar la tubería al fondo de la zanja se debe comprobar la correcta ejecución del fondo de la zanja, para que permita el apoyo del tubo en toda su longitud entre nichos de uniones, de modo que el tubo se apoye en toda su longitud, tenga la pendiente especificada y no quede en contacto con cuerpos que pueden dañar su recubrimiento.

#### 7.1.5.3 Verificación de daños a la tubería

Antes de ser bajadas al fondo de la zanja, el Supervisor comprobará los posibles daños de tubería y accesorios, originados durante su manejo. Todo tubo de Hierro Fundido Dúctil (HFD) que presente daños en el revestimiento interno o externo, superiores a las micro fisuraciones o pequeños despegues normales que se producen por desecamiento y que desaparecen una vez que el tubo ha sido puesto en agua, deberá ser previamente reparado a satisfacción del Supervisor. Para la tubería de PVC se debe revisar que no tenga grietas debidas a golpes en sus extremos y parte intermedia u otro tipo de daño que pueda afectar su buen funcionamiento.

Mientras el tubo se encuentra sostenido en el aire, bien sea por medio de un equipo mecánico apropiado o manualmente, previamente a su colocación se verificará:

- a) Que no contiene cuerpos o materiales extraños.
- b) Que no ha sufrido ningún daño.
- c) Que los revestimientos, eventualmente reparados, son correctos.
- d) Que las extremidades correspondientes a las juntas estén completamente limpias.

En caso de ovalización, la extremidad del tubo deberá ser reacondicionada para devolverla a su forma redonda, con un aparato aprobado por el Supervisor.

No será permitido dejar caer el tubo al fondo de la zanja; si tal accidente se produjese, el tubo deberá ser extraído de la zanja y cuidadosamente inspeccionado.

#### 7.1.5.4 Acople de tubos

El tubo a colocar una vez bajado al fondo de la zanja deberá ser presentado exactamente en laprolongación del tubo en espera.



Antes de unirse, las tuberías deberán limpiarse del lodo, terrones, piedras y otros objetos que puedan haber entrado. Los montajes de las juntas deberán ser efectuados siguiendo metódicamente las especificaciones del fabricante.

Al final de la jornada de trabajo o cuando éste sea interrumpido por cualquier período, los extremos abiertos de las secciones de tubería y tuberías colocadas en las zanjas deberán cerrarse por medio de tapones, para evitar la entrada de suciedad o animales.

#### 7.1.6 Ruptura y reposición de pavimento

El trabajo consistirá en la rotura o demolición de pavimentos, de cualquier clase: de asfalto, de concreto, de adoquín, de empedrado o empedrado fraguado; incluyéndose la base sobre la cual se hayan construido cualquiera sea esta, hasta una profundidad de 40 cm. si la hubiere.

En los casos especiales en que la base tenga espesor mayor de 40 cm., se considerará y pagará como excavación en zanja a partir de la profundidad de 40 cm. de base.

Cuando el material producto de la rotura o demolición de pavimentos pueda ser utilizado posteriormente en la reconstrucción de estos, será dispuesto en los alrededores del área de su remoción en forma tal que no sufra deterioro alguno ni cause interferencia con la prosecución de los trabajos; en caso contrario deberá ser retirado según lo ordene el Supervisor.

Se entenderá por reposición de pavimentos, la operación consistente en construir nuevamente las Obras que hubieren sido removidos para la apertura de zanjas. Las obras reconstruidas deberán ser del mismo material y características que las originales. Deberá quedar el nivel de rasante original. Cuando la Contratista corte cualquier tipo de pavimento fuera de ancho de zanja estipulado en este Tomo sin autorización del Supervisor, este deberá reponer el sobre ancho sin derecho a pago. (ANDA, Especificaciones Técnicas para alcantarillado sanitario, 2015)

#### 7.1.6.1 Pavimento Asfáltico

Para la reposición del Pavimento Asfáltico, se deberá hacer cortes rectos formando rectángulos, si el borde de la zanja es irregular, el corte deberá extenderse hasta conseguir una arista recta, esta extensión deberá ser aprobada por el Supervisor. La base se limpiará con cepillos y si es necesario con aire comprimido según lo indique el Supervisor. La base se preparará aplicándole asfalto líquido. Si no se dispone de un equipo de riego, se pueden utilizar métodos, manuales bajo la dirección del Supervisor.

Después que el área a reparar ha sido debidamente preparada, incluyendo la limpieza de los bordes y la aplicación correcta de la capa de imprimación, debe extenderse la mezcla, colocando primero contra los bordes y extendiéndola hacia el centro, la Contratista debe colocar la cantidad de mezcla necesaria para poder obtener una superficie nivelada.

Para la compactación, se utilizarán equipos y procedimientos adecuados (rodillo vibratorio) sobre la superficie del material colocado, hasta alcanzar el nivel del pavimento circundante.

En caso se utilice compactadores manuales, (con autorización del Supervisor), la superficie del parche debe quedar ligeramente más alta que la del pavimento circundante.

Cuando se trate de mezclas de granulometría abierta, en complemento, la superficie será protegida por una capa delgada de agregado fino (chispa) de aproximadamente 5 mm de espesor.

#### 7.1.6.2 Pavimento de Concreto Hidráulico

Para la reposición de pavimentos de concreto hidráulico, deberán hacerse cortes lo más rectos posibles, paralelos y ángulos rectos con respecto a la línea central y bordes del pavimento original. Los bordes deben quedar tan verticales y rectos como sea posible, a fin de evitar que se generen filos, tanto en el nuevo como en el viejo pavimento y se extiendan a través de la unión.

Antes de colocar el nuevo concreto, los bordes deben humedecerse, hasta un punto en el cual la humedad no interfiera con la adherencia. El tipo de concreto será el especificado por el Supervisor.

A la hora de colocación del concreto se deberá tener el cuidado de conservar las juntas de dilatación que existan en el pavimento viejo. Será a criterio de la Supervisión si se necesita dejar o no este tipo de juntas.

### 7.1.6.3 Adoquinados y empedrados

En la remoción de pisos o pavimentos adoquinados, obligada por la construcción de las obras, la Contratista deberá retirar los adoquines con el cuidado de no dañarlos para utilizarlos de nuevo. La Contratista protegerá los adoquines y arena extraída para su reutilización. Evitará asimismo que la erosión provocada por la lluvia dañe el adoquinado inalterado.

Los adoquines dañados durante la remoción serán sustituidos por nuevos de calidad y dimensiones iguales a los existentes.

La reposición de los adoquines (dañados o perdidos) o arena perdida, será a cuenta de la contratista. Si es necesario utilizar nueva arena para soporte de los adoquines, deberá ser arena limpia de río, que llene los requisitos de granulometría (Ver Tabla 7-2).

TAMIZ	% QUE PASA
3/8"	100
No. 4	95-100
No. 16	45-80
No. 50	10-30
No. 100	2-10

**Tabla 7-2, Granulometría de arena**

La arena y tierra para juntas deberá ser material fino y limpio, cumpliendo los requisitos de granulometría (Ver Tabla 7-3)

TAMIZ	% QUE PASA
No. 8	100
No. 50	15-40
No. 100	0-10
No. 200	0-5

**Tabla 7-3, Granulometría de arena y tierra junta**

La reconstrucción del adoquinado se hará como sigue:

Sobre la base preparada, que puede requerir un tratamiento de suelo-cemento de acuerdo con la calidad del pavimento a restituir, se colocará una capa soporte de arena de 25 a 35mm de espesor, sobre esta capa de arena se colocarán los adoquines, dejando entre ellas una separación de 5 a 10mm.

Las juntas se rellenarán utilizando el 60% de arena y el 40% de tierra, según las especificaciones anteriores.

Una vez colocadas y selladas las juntas de los adoquines, es conveniente pasar sobre ellos, ya sea una aplanadora de rodillos metálicos o neumáticos, o en su defecto camiones cargados, hasta conseguir la correcta nivelación y acomodo de los adoquines.

Si el pavimento a restituir tiene juntas ligadas o zulaqueadas con mortero o parta de cemento, el pavimento nuevo deberá cumplir con los mismos requerimientos.

Para los empedrados en igual forma se debe comportar y nivelar la base, cuidando que al colocar las piedras estas conserven el nivel de existente antes de la intervención. Estas deben colocarse con la misma concentración que el resto del empedrado existente. En caso de empedrado fraguado se seguirá lo mencionado anteriormente y el mortero se preparará como lo indicado en la norma ASTM C270.

Los trabajos de ruptura y reposición antes descritos deberán hacerse atendiendo en todos los lineamientos del Ministerio de Obras Públicas, Fondo Vial (MOP y FOVIAL, respectivamente), gobiernos locales u otro ente que norme estas actividades. Es obligación de la Contratista obtenerlos permisos necesarios y cancelar los importes correspondientes a los diversos entes que norman estas actividades; sean estas realizadas en sectores urbanos o no urbanos (calles, carreteras, caminos, etc.).

#### 7.1.7 Prueba de tuberías para alcantarillado sanitario

##### 7.1.7.1 Prueba hidráulica de infiltración y estanqueidad

Las pruebas de estanqueidad tienen por objeto asegurar la ausencia de fugas en cualquier sistema en el que intervengan fluidos a presiones iguales o distintas a la atmosférica.

Se probará cada tramo de la instalación obturando la entrada de la tubería en el pozo “aguas abajo”, rellenando con agua desde el pozo “aguas arriba”, se dejarán transcurrir 30 minutos realizándose una inspección general, comprobándose que no existen fugas.

Dicha prueba será evaluada por La Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).

Procedimiento: (ANDA, Especificaciones Técnicas para alcantarillado sanitario, 2015)

La prueba deberá realizarse como mínimo entre dos pozos consecutivos y en una longitud máxima de 213m

- Se deberán tapar todos las salidas e ingresos de agua y dejar solamente un ingreso de agua en el pozo aguas arriba, a partir del cual se realizará la prueba.
- El tramo de colector deberá ser llenado lentamente, hasta alcanzar en el pozo aguas arriba a probar, una altura mínima de 0.60m sobre la corona del tubo. Se deberá dejar en reposo durante un periodo mínimo de 4 horas y un máximo de 72 horas, luego de las cuales se procederá a rellenar con agua hasta alcanzar la altura mínima de 0.6m o la altura definida para la prueba (hp).
- Se calculará la altura media del agua en el tramo a ser probado, de acuerdo con lo siguiente:

$$Hm = \frac{LS + 2Hp}{2}$$

Dónde:

Hm: es la altura media de agua sobre la tubería, en metros

L: es la longitud del tramo a probar, en metros

S: es la pendiente del tramo a probar

Hp: es la altura del agua sobre la corona del tubo aguas arriba, en metros

- Luego de alcanzar la altura de prueba y esperar el periodo de prueba, se deberá medir el volumen de pérdida de agua. El periodo mínimo de prueba será de 1 hora y el máximo no deberá exceder de 24 horas.
- El volumen de pérdida de agua medido deberá ser menor o igual que el valor dado en la Tabla 7-4, para el diámetro de la tubería sujeta a prueba.
- Los pozos deberán ser probados en forma independiente y el valor permisible de pérdida será de 4l/ (metro de diámetro) (metro de carga de agua) (día) (4l/m.m. h).

Durante el período de prueba se revisarán las juntas de tubería y accesorios y las piezas especiales, a fin de localizar posibles fugas. Cuando por tránsito vehicular u otros motivos se haya realizado un relleno completo la Contratista



deberá usar métodos indirectos, para detectar posibles fugas, los cuales deberán ser aprobados por el Supervisor.

Ø (Pulg)	Ø (mm)	Perdida permisible (l/h)	
		Tubería de concreto	Tubería termoplástica
6	152	12	4
8	203	16	5
10	254	20	7
12	305	23	8
15	381	29	10
18	457	35	12
24	610	47	16
30	762	59	20
36	914	70	24
42	1067	82	28
48	1216	94	31
60	1524	117	39

**Tabla 7-4, Perdida admisible por cada 100 m**

#### 7.1.7.2 Preparación de las pruebas

Las pruebas se harán en condiciones tales, que permitan efectivamente examinar los tramos de tuberías y particularmente las juntas, salvo que el Supervisor autorice relleno completo con examen por medios indirectos.

La Contratista proporcionará y colocará los tapones, conexiones de alimentación, bombas, manómetros, los apoyos y macizos de anclaje provisionales en los extremos de cada tramo, necesarios para efectuar las pruebas en las condiciones descritas, así como cualquier accesorio especial requerido para la realización de las pruebas.

Se tomarán todas las precauciones tendientes a evitar cualquier movimiento longitudinal o transversal de la tubería. Cada tubo se sobrecargará mediante un relleno parcial de la zanja dejando descubiertas las juntas y conexiones, evitando así su flotación en caso eventual de inundación de la zanja cuando la cañería está vacía.

#### 7.1.7.3 Suministro de agua para la prueba de tuberías

El agua necesaria para las pruebas será adquirida bajo su costo por la contratista, el punto de entrega será definido por la ANDA o el operador del sistema, atendiendo la disponibilidad en red existente en cercanías a sitios de Pruebas de tuberías.

La Contratista no podrá maniobrar válvulas o cualquier otro aparato de cañerías existentes para aprovisionarse de agua, debiendo ejecutar esas

maniobras el personal de ANDA o del operador, a pedido de la Contratista a través del Supervisor.

Una vez utilizada el agua para probar un tramo, no podrá ser desechada, salvo autorización por escrito del Supervisor, debiendo la Contratista proveer un sistema adecuado para vaciarlo al siguiente tramo, evitando por todos los medios necesarios, que en su vaciado pueda caer parte de ella en la zanja.

#### 7.1.7.4 Conformidad a la prueba

La Contratista deberá remediar todo desperfecto de estanqueidad constatado durante la prueba, ejecutado a su cargo y de inmediato las reparaciones cuya necesidad fuera puesta en evidencia por los ensayos hidráulicos y repetir los ensayos en las mismas condiciones descritas, hasta obtener la conformidad del Supervisor.

#### 7.1.7.5 Constancia de aprobación

En un formato estándar establecido por el Supervisor y proporcionado en triplicado por la Contratista, se dejará constancia, de cada uno de los ensayos, mencionándose lo siguiente:

- a) Número de orden del ensayo.
- b) Fecha.

- c) Identificación del tramo ensayado, utilizando el número de los pozos que limitan el tramo a probar, esto según se identifican en los perfiles longitudinales de las obras.
- d) Tipo de prueba a realizar (agua o aire)
- e) Longitud del tramo a probar, diámetro del colector, pendiente, todos los elementos que constituyen el tramo probado.
- f) Volumen de agua perdido para el caso de prueba con agua o tiempo requerido para bajar 1 psig
- g) Resultados conseguidos
- h) Decisiones adoptadas para reparación de fallas detectadas.
- i) Conclusiones que puedan extraerse del o los ensayos efectuados previamente a la aceptación del Supervisor.
- j) El original de este documento, previo visto bueno del Supervisor, se entregará a ANDA. Una copia para al Supervisor y la segunda copia quedará en poder del Contratista.

Todas las copias deberán ser firmadas por la Contratista, y el Supervisor.

Ø(Pulg)	Tmin(min)	LONGITUD DEL TRAMO EN M							
		25	50	75	100	125	150	175	200
4	3:46	3:46	3:46	3:46	3:46	3:46	3:46	3:46	4:09
6	5:40	5:40	5:40	5:40	5:40	5:50	7:00	8:10	9:20
8	7:33	7:33	7:33	7:33	8:18	10:23	12:17	14:32	16:36
10	9:27	9:27	9:27	9:44	12:58	16:13	19:28	22:42	25:57
12	11:20	11:20	11:20	14:01	18:41	23:21	28:02	32:42	37:22
15	14:14	14:14	14:36	21:54	29:12	36:30	43:48	51:6	58:24
18	17:03	17:03	21:01	31:32	42:03	52:34	63:04	73:35	84:006
24	22:47	22:47	37:22	56:04	74:45	93:27	112:08	130:50	149:31
30	28:29	29:12	58:24	87:36	116:49	146:01	175:13	204:25	233:38
36	34:21	42:03	84:06	126:09	168:13	210:16	252:19	294:22	336:26

Tabla 7-5, Tiempo Mínimo Requerido para una disminución de 1psig para una longitud y diámetro dados (minutos)

### Especificaciones técnicas de planta de tratamiento de aguas residuales

Al contar con el diseño de las plantas de tratamiento ya definido, se procede a describir las especificaciones técnicas necesarias para la construcción de dicha obra. En esta parte se definen las normas, exigencias y procedimientos para ser empleados y aplicados en todas las actividades de construcción del proyecto.

Las especificaciones técnicas no constituyen un manual de construcción, sin embargo, contiene los requisitos mínimos que debe obtenerse en la obra terminada. Cabe mencionar, que la omisión de cualquier detalle en planos, en especificaciones técnicas o en ambos, no exonera al contratista de la responsabilidad y obligación de ejecutarlos. Por lo tanto, no podrá tomarse como base para reclamaciones o demandas posteriores, puesto que se supone que el contratista conoce bien las prácticas correctas de construcción.

#### 7.1.8 Obras preliminares

En esta partida se incluye todas las operaciones necesarias para iniciar el proceso constructivo, tales como: limpieza del terreno, construcción de bodega y oficina, construcción de cerca de seguridad, etc.

El descapote consistirá en retirar toda vegetación, roca o estructura que interfiera con el proceso constructivo de la obra.

Las bodegas del contratista serán de dimensiones adecuadas al volumen de equipos y materiales que se usarán en la obra. Se deberá construir con techo de lámina galvanizada: paredes y estructuras de madera o lámina; piso de mortero (cemento y arena). Sin embargo,

debido a la cercanía de los terrenos a la Ciudad, es una opción factible rentar alguna casa para mantenerla como bodega y oficinas.

Para la cerca de seguridad, se utilizará de una sola vez la cerca perimetral que se contempla en los planos, cuya construcción deberá cumplir las

especificaciones técnicas para estructuras metálicas que se describe más adelante.

#### 7.1.9 Trazo y nivelación

El contratista establecerá las referencias planimétricas y altimétricas (bancos de marca) necesarias para replantear ejes y niveles presentados en los planos.

El trazo se realizará mediante el uso de teodolito y niveles de madera.

#### 7.1.10 Excavación y relleno

El trabajo de esta partida incluye el suministro de materiales, mano de obra, herramientas y equipo necesarios para la ejecución de los trabajos de excavación y relleno en la construcción de fundaciones, tuberías y demás instalaciones enterradas.

##### 7.1.10.1 Excavación

La excavación llegará a las profundidades indicadas en los planos y se extenderá lo apropiado a cada lado de las paredes para permitir la colocación de encofrados, arriostramientos y la inspección de la obra terminada.

Si existieran suelos sueltos o inapropiados o mantos de rocas, el contratista deberá removerlos antes de realizar un colado, si así lo indica el supervisor. A la vez habrá que compactar un espesor de 20 cm consuelo cemento 1:20.

Estos volúmenes de sobre excavación y compactado serán pagados al precio unitario aceptado en el plan de propuesta.

Las paredes de excavación se harán a plomo y tomando las precauciones necesarias para evitar derrumbes ocasionados por cortes y rellenos.

Para las tuberías, se deberá compactar en caso de que el suelo resulte suelto o inapropiado, una capa de suelo cemento de proporción 1:20, con un alto y ancho equivalente a 1.5 veces el diámetro de la tubería.

#### 7.1.10.2 Relleno, nivelación y compactación

El material a utilizar en la compactación de fundaciones o tuberías deberá ser sometido a pruebas de laboratorio y al no ser adecuado, se utilizará limo arenoso o tierra blanca en su sustitución.

El relleno será depositado en capas no mayores de 15cm, compactando cada capa con el equipo aprobado por el supervisor. En caso de que se utilicen apisonadores manuales o mecánicos, se deberá tener cuidado de no dañar las estructuras o tuberías.

El compactado sobre estructuras se realizará después de 7 días de haber realizado el colado o cuando el supervisor lo estime conveniente.

El control de densidad y humedad de la compactación se efectuará hasta alcanzar el 90% de la densidad máxima, obtenida mediante la norma AASHTO T-180. Cuando haya cambios de pendientes, se redondearán los bordes.

- Suelo cemento



Cuando sea necesario la aplicación de suelo cemento se realizará con una proporción de 20 partes de tierra blanca y una parte de cemento, esta mezcla deberá realizarse en volumen suelto.

El control de densidad y humedad de la compactación deberá alcanzar el 95% de la densidad máxima, obtenida mediante la norma AASHTO T-180.

#### 7.1.11 Concreto estructural

En esta partida están comprendidas todas las obras de concreto indicadas en los planos y sus respectivos procesos de construcción, tales como: fabricación, colocación, curado y resanado de concreto.

##### 7.1.11.1 Materiales

- Cemento

Todo el cemento debe ser del tipo Portland y cumplirá con las especificaciones ASTM C-150 Tipo I o II. El cemento será entregado en el sitio en bolsas selladas por el fabricante, no se aceptará el cemento contenido en bolsas abiertas o rotas.

El cemento se almacenará en un lugar seco con suficientes provisiones para evitar que absorba humedad. Las bolsas deberán ser colocadas sobre plataformas de madera, levantadas 15cm sobre el piso. Además, no se dispondrán en pilas de más de diez sacos. No se permitirá el uso de cemento

endurecido por almacenamiento o parcialmente fraguado, en ninguna parte de la obra. El contratista deberá usar el cemento que tenga más tiempo de estar almacenado antes de usar el almacenado recientemente.

- Agregados

Los agregados para el concreto son: el agregado grueso y el agregado fino, los cuales deberán cumplir con las normas ASTM C 33.

Los agregados necesarios serán combinados en tales proporciones para obtener una graduación satisfactoria. La curva de graduación deberá permanecer dentro de los límites que son equivalentes a la tabla 2 de la norma ASTM C 33. Todos los agregados para el concreto proporcionados por la Contratista serán de fuentes aprobadas por el Supervisor. La aprobación de una fuente por el Supervisor no constituye en ningún momento aprobación de todos los materiales tomados de dicha fuente y la Contratista será responsable por la calidad específica de los materiales usados en las obras.

Todos los agregados que se entreguen en la planta de dosificación o al sitio en que se efectúan las mezclas deberán tener un contenido de humedad uniforme y estable.

La Contratista deberá probar por su cuenta en el laboratorio todos los agregados de conformidad con las indicaciones del Supervisor.

Las muestras que se utilicen para los ensayos deberán ser representativas y la aprobación por parte del Supervisor de los resultados de laboratorio que le

proporciona la Contratista no exime a éste de la responsabilidad adquirida en este Contrato.

Todos los agregados que no cumplan con ASTM C33 serán inmediatamente desalojados del lugar. Todos los agregados que se utilicen en la obra deberán almacenarse en un lugar que tenga piso de concreto y buen drenaje, de manera que se evite la contaminación del material con el suelo o la mezcla accidental entre los diferentes agregados. El lugar deberá ser aprobado por el Supervisor. Los agregados de tamaño diferentes deberán ser apilados en grupos o depósitos diferentes. El volumen de agregados almacenado en el lugar deberá ser suficiente como para no producir interrupción ni suspensión de la obra.

**Agregado Grueso:** El agregado grueso para el concreto consistirá en piedra triturada sin poros, o grava de formas cúbicas y no alargadas (laja), y cumplirá, y estará graduada de acuerdo con ASTM C33. El agregado de piedra caliza solamente será aceptable si es de una variedad cristalina dura y con una absorción menor que el 4%.

El agregado grueso para todas las clases de concreto estará de acuerdo con la tabla 2 de ASTM C33.

Los tamaños máximos y mínimos nominales del agregado grueso son 40 mm y 20 mm respectivamente.

El tamaño máximo del agregado grueso será, en general, tan grande como sea posible, pero en ningún caso mayor que:

- i. Un cuarto del espesor mínimo del componente, o 6 mm menos que la distancia entre las barras de refuerzo o aquella de la cubierta del concreto sobre el refuerzo, en el entendido que el concreto puede ser colocado sin dificultades incluso en todos los lugares que circunda el refuerzo y pueda llenar las esquinas del moldaje. De suministrarse diferentes tamaños de agregado grueso en forma separada, se controlará la graduación del agregado grueso mediante la obtención de agregados de 40 mm de tamaño máximo nominal.

**Agregado Fino:** El agregado fino deberá ser arena natural, dura, densa, durable y limpia y cumplirá con ASTM C33 y será tal que cuando se combine con el agregado grueso se obtenga una graduación de conjunto adecuada. Deberá estar libre de arcilla, materia orgánica y otras impurezas.

- Agua

El agua al momento de usarse debe ser limpia y estar libre de aceite, ácidos, sales, álcalis, cloruros, materias orgánicas y otras sustancias.

- Acero de refuerzo

Todo el acero corrugado de refuerzo deberá cumplir con la norma para varilla de refuerzo en concreto armado ASTM A-615, y tendrán un límite de fluencia  $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$  (Grado 40). Se exceptúa el acero de refuerzo #2 ( $\varnothing \frac{1}{4}$ " ) que será liso.

El Supervisor podrá exigir que se haga un ensayo de tracción y uno de dobleces por cada nuevo lote que ingrese a la bodega del contratista, con un mínimo 3 muestras de 90 cm para el ensayo de tracción. Pudiendo exigir el supervisor el certificado de compra.

El acero de refuerzo deberá estar libre de defectos de manufactura y su calidad garantizada por el fabricante.

En el armado de cualquier miembro estructural no se permitirán barras de refuerzo cuyo diámetro nominal difiera del indicado en los planos en más del 5%.

#### **Colocación del acero de refuerzo.**

El Contratista cortará, doblará colocará todo el acero de refuerzo de acuerdo con lo que indiquen los planos y los criterios del reglamento ACI

Todo el refuerzo deberá estar libre de óxido suelto, de aceite, grasa u otro recubrimiento que pueda reducir su adherencia con el concreto. Se utilizarán cubos de concreto, separadores y amarres, para asegurar la posición correcta del refuerzo y evitar el desplazamiento durante el colado.

Todos los dobleces (inclusive coronas, estribos, ganchos) serán hechos en frío sobre una espiga de diámetro no menor de cuatro (4) veces el diámetro de la barra que se dobla, en el caso de estribos; ni menor de seis (6) veces el diámetro de la barra que se dobla, en el caso del refuerzo principal.

Los traslapes serán desplazados entre sí a una longitud no menor de 30 veces el diámetro nominal para varilla corrugada, y 40 diámetros de longitud para varilla lisa. Los cierres de las coronas y estribos contiguos deberán quedar alternados.

- Aditivos

Los aditivos deberán ser usados en las proporciones indicadas en las instrucciones impresas de los fabricantes. El Supervisor autorizará caso por caso el uso de los aditivos. No habrá pago adicional cuando los aditivos sean usados a opción del Contratista o cuando sean requeridos por el Supervisor como medida de emergencia para remediar las negligencias, errores, o atrasos en el progreso de la obra imputables al Contratista.

#### 7.1.11.2 Dosificación y control de mezcla

El contratista proporcionará concreto con resistencia mínima a la ruptura por compresión a los 28 días de 210 kg/cm<sup>2</sup>, cuya proporción es de una parte de cemento, 2 partes de arena y 2 partes de grava.

El diseño será efectuado por un laboratorio que posea la experiencia en este campo, y lo efectuará usando materiales que el contratista haya acopiado en el lugar de la obra, con el cemento y el agua que realmente empleará en la construcción. La relación agua - cemento no debe variarse a la dada por la mezcla de diseño.

El concreto será dosificado preferiblemente por peso, pero se podrá también dosificar por volumen, de acuerdo con las proporciones por peso estipuladas en el diseño de las mezclas.

El contratista deberá obtener la resistencia del concreto especificada, las cuales deberán comprobarse por medio de especímenes preparados curados y sometidos a prueba, de conformidad con las normas ASTM C-31 y C-39. Estas pruebas se harán en seis cilindros por cada muestreo.

Se hará un muestreo por día de colado por cada 10 m<sup>3</sup> o menos de concreto vaciado o de acuerdo con la necesidad que establezca el laboratorio. Los cilindros serán tomados de la siguiente manera: 3 para ensayar a los 7 días y 3 para ensayar a los 28 días.

Los cilindros deberán tener el 10% más que la resistencia requerida. Se asume que la resistencia a los 7 días corresponde al 70% de la resistencia a los 28 días.

Otra manera de hacer muestreos puede ser tomándose muestras por lo menos en tres revolturas seleccionadas al azar, o en cada revoltura cuando se empleen menos de tres.

Una prueba de resistencia debe ser el promedio de la resistencia de tres cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados ambos a la misma edad.

Cabe mencionar, que antes de la colocación deben tomarse las muestras de concreto necesarias para realizar las pruebas de revenimiento, el cual deberá de tener entre 4 y 5 pulgadas sin el uso de aditivos. Si los resultados de estas pruebas caen fuera de las tolerancias permitidas, el Supervisor podrá rechazar el concreto u ordenar las medidas correctivas necesarias.

#### 7.1.11.3 Preparación del concreto

Se usarán mezcladores del tipo apropiado y se preparará el concreto sólo en la cantidad que sea necesaria para el uso inmediato. Ninguna mezcladora se operará más allá de su capacidad indicada. El contenido total de la mezcladora deberá ser removido del tambor antes de colocar allí los materiales para la carga siguiente.

No se podrá utilizar el concreto que no haya sido colocado en su sitio a los 30 minutos de haberse agregado el cemento al agua para la mezcla, o el cemento al agregado. El concreto premezclado que haya sido entregado en la obra en camiones mezcladores o agitadores podrá colocarse en el término de 60 minutos, calculados desde el momento en que se ha agregado el agua al cemento.



#### 7.1.11.4 Colocación del concreto

El concreto se depositará hasta donde sea posible, en su posición final.

Los colados se harán a tal velocidad y altura (menor de 1.00 m) que el concreto se conserve todo el tiempo en estado plástico y se evite la segregación. Donde las operaciones de colocación impliquen verter el concreto directamente desde una altura de más de 1.00 m, se deberá depositar a través de tubos o canales de metal u otro material aprobado.

No se depositará concreto que se haya endurecido parcialmente o que esté contaminado con sustancias extrañas, ni se revolverá nuevamente a menos que el Supervisor dé su aprobación.

El recubrimiento mínimo para el acero de refuerzo en estructuras de concreto en contacto con el terreno deberá ser de 5 cm., y en los demás elementos 2.5 cm. El concreto se consolidará con ayuda de un equipo vibrador adecuado.

#### 7.1.11.5 Encofrados

El Contratista colocará los moldes de tal manera que produzcan alineamientos correctos del concreto y que no permitan filtraciones. Los encofrados serán construidos con suficiente rigidez para soportar el concreto y las cargas de trabajo, sin dar lugar a desplazamientos después de su colocación y para lograr la seguridad de los trabajadores.

Los encofrados deberán ser firmes y bien ajustados a fin de evitar escurrimiento de la lechada y en tal forma que permanezcan sin deformarse, ni pandearse. Se utilizará madera de pino o moldes metálicos, con una estructuración adecuada.

#### 7.1.11.6 Curado

El concreto deberá protegerse de la pérdida de humedad durante un período mínimo de 7 días, cubriéndolo permanentemente con una capa de agua o con algún recubrimiento que garantice un curado efectivo durante el proceso de fraguado.

#### 7.1.11.7 Reparación de defectos del colado

Todos los defectos superficiales que resulten en el concreto al retirar los moldes deberán ser corregidos. Las colmenas cuya profundidad no exceda de 1/5 de la sección de concreto, así como las rajaduras y de laminaciones superficiales, deberán picarse hasta encontrar concreto compacto, después serán lavadas y resanadas con un mortero epóxico.

En caso de agrietamiento se podrá realizar una inyección con resina epóxica de baja viscosidad.

Si la colmena excede  $1/5$  de la sección transversal se procederá a la demolición total o parcial del elemento colado. En caso de que sea parcial, la zona demolida será restaurada con un concreto de igual resistencia, pero se aplicará una resina epóxica para unir concreto nuevo con viejo y unestabilizador volumétrico de buena calidad.

#### 7.1.12 Albañilería y acabados

En esta partida están incluidas todas las obras de albañilería y acabados, el Contratista proveerá materiales, equipo y servicios necesarios para ejecutar las obras que indiquen los planos y especificaciones.

##### 7.1.12.1 Morteros

Los materiales a usarse en los morteros llenarán los siguientes requisitos:

- a) Cemento Portland según especificaciones ASTM C91 o ASTM C1157
- b) Arena conforme ASTM designación C-144-66T y C-40.
- c) Agua limpia, libre de aceite, ácidos, sales, álcalis, cloruros, materiales orgánicos y otras sustancias que la contaminen. La cantidad de agua que se usará en la mezcla será la mínima necesaria para obtener un mortero plástico y trabajable.
- d) Dosificación de los morteros.

TIPO DE MORTERO	CEMENTO	ARENA
Mampostería de piedra	1	4
Mampostería de ladrillo de	0	
barro bloques de concreto	1	4
Repellos	1	4
Afinados	1	2
Pulidos	pasta de cemento	---

**Tabla 7-6, Dosificación de morteros**

- e) Los ingredientes serán preparados en una mezcladora mecánica aprobada. En caso el Supervisor crea sea imposible usar mezcladora mecánica autorizará hacerlo a mano para lo cual la Contratista tendrá las consideraciones siguientes: Fabricarlo sobre una superficie limpia, seca y de madera y un volumen con una consistencia tal que pueda manejarse fácilmente y extenderse con palustres. Para cualquiera de los dos métodos el cemento y la arena deben mezclarse en seco hasta obtenerse una mezcla de color homogéneo, después de esto se le agrega el agua en suficiente cantidad hasta producir la consistencia deseada.

El mortero deberá mezclarse sólo en las cantidades necesarias para uso inmediato. El mortero deberá usarse en un período máximo de 30 minutos a partir del instante en que se agregue el agua; después de ese período será descartado.

No se permitirá por ningún motivo batir mezcla en el suelo de tierra.

#### 7.1.12.2 Acabados de paredes

Los repellos se harán con mortero de cemento Pórtland tipo I y arena de río de granos menores de 1/16", en una proporción volumétrica 1:4. Los afinados se harán con llana metálica aplicando un mortero de cemento Portland tipo I y arena con granos menores de 1/64", en proporción volumétrico 1:2.

Antes de repellar deberán limpiarse y mojarse las paredes y cuando haya que repellar estructuras de concreto, deberá picarse previamente para mayor adherencia del repello, éste en ningún caso tendrá un espesor mayor de 1.5 cm.

El repello deberá curarse por lo menos durante tres días, después de los cuales podrá procederse al afinado con llana metálica, hasta lograr una superficie tersa y uniforme. El afinado deberá curarse por lo menos durante 5 días.

### 7.1.13 Estructuras metálicas

El alcance del trabajo incluye la construcción de los elementos estructurales metálicos, con la combinación de perfiles metálicos y varillas de acero indicados en los planos, para formar elementos de alma abierta o llena. Se incluyen los detalles de conexión.

- Material

Todos los perfiles metálicos indicados en estos planos deberán cumplir con los requisitos de calidad de la designación ASTM A-36.

- Requerimientos constructivos

Para la fabricación y montaje de la estructura metálica se deberá desarrollar planos de taller y en la ejecución deberá garantizarse la estabilidad de la estructura por medio de puntales y arriostramientos laterales.

Las soldaduras se realizarán con el proceso de arco eléctrico con electrodo protegido del tipo E-7018.

### 7.1.14 Instalación de tuberías

Se incluyen todas las instalaciones de tuberías mostradas en el plano, así como sus accesorios, cajas, pozos y cualquier otro elemento indicado.

- Material

Los planos constructivos indicarán el tipo de tubería y diámetro que se emplearán. En el caso de usarse tuberías de PVC deberán ser fabricadas bajo norma para una presión de 100 PSI.

- Requerimientos constructivos

En el caso de tuberías enterradas, la excavación deberá tener un ancho mínimo de 30cm, en tuberías de diámetros menores a 6", y en diámetros mayores según la Tabla 7-7.

El relleno sobre tuberías deberá realizarse con material limo arenoso, depositado en capas de 15cm, y compactado hasta tener un 80% de la densidad máxima.

DIAMETRO NOMINAL		ANCHO DE ZANJA
Cm	Pulg.	Cm
15.24	6.00	55.24
20.32	8.00	60.32
25.40	10.00	65.40
30.48	12.00	70.48
38.10	15.00	78.10

**Tabla 7-7, Ancho de excavación a partir de diámetros de tuberías**

En el caso de ser necesario la construcción de cajas y pozos se hará de acuerdo con lo establecido en las Normas Técnicas de ANDA.

#### 7.1.14.1 Prueba hidráulica de infiltración y estanqueidad

El ensayo de estanqueidad se fundamenta en el llenado con agua de las tuberías de un sistema de alcantarillado, sometiéndola a una presión dada,

para determinar la pérdida del agua, con el objetivo de establecer su aceptabilidad.

Se probará cada tramo de la instalación obturando la entrada de la tubería en la arqueta “aguasabajo”, rellenando con agua desde la arqueta “aguas arriba”, se dejarán transcurrir 30 minutos realizándose una inspección general, comprobándose que no existen fugas.

Dicha prueba será evaluada por La Asociación Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ANDA).

### **Laguna de maduración**

#### 7.1.15 Conformación de taludes.

Se debe de prestar atención en la conformación de taludes, considerando pendientes no mayores a 1:2 con un grado de compactación del 95%.

#### 7.1.16 Impermeabilización

La laguna debe tener una geomembrana

### **Presentación de planos de la red de alcantarillado**

#### 7.1.17 Presentación de los elementos de la red de alcantarillado

El juego de planos será agregado como anexo



## **Presentación de planos de la planta de tratamiento**

### 7.1.18 Presentación de los elementos de la red de alcantarillado

El juego de planos será agregado como anexo

### 7.1.19 Presentación de los elementos del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas

El juego de planos será agregado como anexo

## **8 CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

#### 8.1.1 Alcantarillado sanitario

- La realización del sistema de alcantarillado en el municipio de Zaragoza, departamento de la libertad disminuiría importantemente la cantidad de aguas residuales vertidas sin tratamiento, teniendo un impacto positivo en la prevención de contaminación de cuerpos receptores y por ende reduciría las causas de enfermedades potenciales en los habitantes del lugar.
- Se realizó la evaluación de la red en las condiciones actuales, y se vio la necesidad de mejorarla, ya que, una buena parte de la población de

la zona urbana de Zaragoza no cuenta con acceso al servicio de alcantarillado sanitario, sobre todo la población ubicada al Poniente de la ciudad.

- El diseño de sistema de alcantarillado cumple con los requisitos de velocidad y pendiente establecidos en la norma técnica de ANDA (Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados).
- Debido a la pronunciada pendiente del lugar se llegó a la conclusión de solventar la necesidad del acceso al servicio haciendo uso de equipo de bombeo para las aguas negras, ya que no es posible completar el proceso utilizando la gravedad.

#### 8.1.2 Planta depuradora de aguas residuales

- Con la propuesta de mejoramiento del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas para el municipio de Zaragoza, departamento de la libertad, se mejora significativamente la capacidad de remoción del sistema actual, contribuyendo a la reducción de contaminación del cuerpo receptor.
- Fue importante realizar una evaluación de la capacidad de remoción a la laguna facultativa para comprobar, si actualmente el sistema existente es capaz de remover correctamente la carga de DBO.

- El espacio físico donde se encuentra el sistema de lagunas es limitado y es muy importante aprovechar al máximo los espacios del terreno con una óptima configuración de los elementos del sistema.
- Se diseñó el tratamiento preliminar debido a que el sistema actual carece de ello, muchos sólidos de gran tamaño van a parar directamente a la laguna facultativa, reduciendo el volumen y el área de esta, lo que genera problemas constantes al sistema.
- El plantear y proponer un nuevo modelo que incluye componentes como Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente y Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente respondió a la necesidad del espacio físico disponible para el sistema de tratamiento, ya que dichos elementos aumentan su altura para disminuir su área, lo que, según los resultados, mejorará de gran manera la depuración de las aguas residuales colectadas de la zona urbana de la ciudad de Zaragoza.

## Recomendaciones

### 8.1.3 Recomendaciones sobre la propuesta de diseño de la red de alcantarillado sanitario

- Respetar las dimensiones y características definidas en el diseño, ya que han sido verificadas y cumplen con las normas técnicas de ANDA.
- Realizar un estudio de suelos antes de iniciar cualquier obra civil o hidráulica en la zona
- Considerar un trabajo en conjunto con los habitantes del municipio y asegurar su participación en la realización de las mejoras a la red
- Trabajar en conjunto con las instituciones involucradas en el desarrollo y bienestar de la población (gobierno municipal de Zaragoza, Ministerio de Medio Ambiente, ANDA, etc.)
- Realizar un diseño electromecánico a cargo de un especialista para los componentes que formarán parte de la red y de la planta de tratamiento

### 8.1.4 Recomendaciones sobre la propuesta de diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales

- Realizar obras de mitigación en el terreno, antes de mejorar la planta de tratamiento, teniendo en cuenta que la zona donde se ubica el inmueble se inundó durante la tormenta tropical 12 E.
- Continuar con los análisis periódicos y monitoreo de la calidad del agua en el efluente
- Incluir el costo de operación y mantenimiento en el presupuesto de la institución encargada de la operación de la planta de tratamiento
- Capacitar periódicamente al personal que estará a cargo de la operación del sistema de tratamiento para dar soluciones a los problemas que puedan ocurrir durante la operación.

## 9 Bibliografía

A.N.D.A. (2016). *Boletín Estadístico N°38*. San Salvador: A.N.D.A.

A.N.D.A. (Agosto de 2017). *Norma de Factibilidades de Acueductos y Alcantarillados*. San Salvador, San Salvador, El Salvador: ANDA.

Alcantarillado, I. N. (diciembre de 2015). *Confederación Zuiza*. Recuperado el 28 de abril de 2019, de Confederación Zuiza:

[https://www.eda.admin.ch/dam/countries/countries-content/nicaragua/es/Cartilla\\_Social\\_Tubito.pdf](https://www.eda.admin.ch/dam/countries/countries-content/nicaragua/es/Cartilla_Social_Tubito.pdf)

Alfaro Melgar, J. M., Carranza Cisneros, J. L., & González Reyes, I. (2012).

*DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO, AGUAS LLUVIAS Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL AREA URBANA DEL MUNICIPIO DE SAN ISIDRO, DEPARTAMENTO DE CABAÑAS.* San Salvador: UES.

Asociacion Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, M. (2015). *PROPUESTA*

*DE REGLAMENTO TECNICO SALVADOREÑO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TIPO ORDINARIO PARA LA ZONA RURAL.* San Salvador: Ministerio de Salud.

Ayala Durán, C. A., & Díaz Castillo, E. (2008). *MANUAL PARA EL DISEÑO*

*DE UNIDADES DE TIPO BIOLOGICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL SALVADOR.* San Salvador: UES.

Carlos Ayala y Elía Díaz, U. (2008). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE*

*UNIDADES DE TIPO BIOLOGICO EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL SALVADOR.* San Salvador: UES.

Castillo Claramount, R. A. (16 de octubre de 1987). Decreto Legislativo N° 50.

- Chinchilla Menjivar, E. E., & Rodríguez Ayala, E. (2010). En E. E. Chinchilla Menjivar, & E. C. Rodríguez Ayala, *DISEÑO DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE SAN JOSÉ GUAYABAL, MUNICIPIO DE SAN JOSÉ GUAYABAL, DEPARTAMENTO DE CUSCATLÁN*. SAN SALVADOR: UES.
- Comisión Nacional del Agua, M. (2018). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Filtros Anaerobios de Flujo Ascendente*. México DF: Comisión Nacional del Agua.
- Crites, R., Tchobanoglous, G., & Miller, C. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Bogotá: McGraw-Hill.
- DIGESTYIC. (2014). Estimaciones y proyecciones de población. En D. G. Censos, *El Salvador: Estimaciones y Proyecciones de Población Municipal 2005 - 2025* (págs. 57 - 64). San Salvador: Ministerio de Economía.
- Flores Pérez, F. G. (2000). *Decreto N° 39*. San Salvador: Casa Presidencial.
- Gómez Domínguez, R. E., Palacios Díaz, L. M., & Sánchez Pérez, L. E. (septiembre de 2009). Propuesta de planta de tratamiento para aguas residuales domésticas urbanas y ampliación del alcantarillado sanitario en zonas ubicadas al Nor-Oriente del casco urbano en el municipio de Quezaltepeque, departamento de La Libertad. San Salvador, San Salvador, El Salvador: UES.

- Instituto Crecimiento, Lima, Perú. (2007). DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PARTICIPACIÓN COMUNITARIA: FORTALEZAS ANTE LA PREVISTA CRISIS DEL AGUA. *DUELOS: Desarrollo Local Sostenible Vol. 1 - N° 0*, 1-5.
- León Blanco, J. R., Salinas Rodríguez, E. A., & Zepeda Lima, M. A. (2017). DISEÑO DE RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLANTA DE TRATAMIENTO DEL MUNICIPIO DE TURÍN, DEPARTAMENTO DE AHUACHAPÁN, EL SALVADOR. SANTA ANA: UES.
- López Rodríguez, G. V., & Rodríguez Carranza, F. A. (agosto de 2012). *REDISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO, ALCANTARILLADO PLUVIAL Y PROPUESTA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CIUDAD DE ARMENIA*. San Salvador: UES.
- Marín Galvín , R. (2016). *CARACTERÍSTICAS LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS E IMPACTOS ASOCIADOS A SU VERTIDO. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES Y SU INCIDENCIA EN LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO*. Madrid: EMACSA.
- METCALF & EDDY, INC. (1995). *INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES* (Vol. 1). Madrid, Aravaca, España: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.



Ministerio de Economía. (1992). CENSOS NACIONALES V DE POBLACIÓN Y IV DE VIVIENDA 1992 - TOMO V. San Salvador: Ministerio de Economía.

MINISTERIO DE ECONOMÍA, DIRECCIÓN GENERAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS, FONDO DE POBLACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, CENTRO LATINOAMERICANO Y CARIBEÑO DE DEMOGRAFÍA, & División de Población de la CEPAL. (2014). En *El Salvador: Estimaciones y Proyecciones de Población Municipal 2005 - 2025* (pág. 61). San Salvador: Ministerio de Economía.

Perez, F. G. (2000). *Decreto N° 39*. San Salvador: Casa Presidencial.

Revelo Vidaure, J. C. (2016). *EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. San Salvador: UES.

Skertchly Molina, L. (1988). Manual de diseño de estructuras de aforo. En I. M. Agua. Mejico: IMTA.

Sperling, M. V., & Lemos Chernicharo, C. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. Londres: IWA Publishing.

USAID. (2012). *PLAN DE COMPETITIVIDAD MUNICIPAL DE ZARAGOZA-LA LIBERTAD 2012-2016*. San Salvador: USAID.

## 10 ANEXOS

### Resultado del análisis de la red existente

Tabla 10-1, Resultado de análisis de tuberías

ID	Label	Start Node	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (in)
34	Tub-1	Pozo-1	Pozo-2	600.36	93.1	0.043	Circle	8
36	Tub-2	Pozo-2	Pozo-3	598.23	97.7	0.022	Circle	8
38	Tub-3	Pozo-3	Pozo-4	594.96	96.6	0.034	Circle	8
40	Tub-4	Pozo-4	Pozo-5	592.32	97.4	0.027	Circle	8
42	Tub-5	Pozo-5	Pozo-6	591.77	95.7	0.006	Circle	8
44	Tub-6	Pozo-6	Pozo-7	589.35	66.9	0.036	Circle	8
46	Tub-7	Pozo-7	Pozo-8	586.7	62.2	0.043	Circle	8
48	Tub-8	Pozo-8	Pozo-9	586.5	39.7	0.005	Circle	8
50	Tub-9	Pozo-9	Pozo-10	584.65	22.7	0.081	Circle	8
52	Tub-10	Pozo-10	Pozo-11	582.31	92.8	0.025	Circle	8
54	Tub-11	Pozo-11	Pozo-12	579.84	92.7	0.027	Circle	8
56	Tub-12	Pozo-12	Pozo-13	578.98	80	0.011	Circle	8
58	Tub-13	Pozo-13	Pozo-14	575.49	65.6	0.053	Circle	8
60	Tub-14	Pozo-14	Pozo-15	574.22	46.7	0.027	Circle	8
62	Tub-15	Pozo-15	Pozo-16	572.6	46.4	0.035	Circle	8
64	Tub-16	Pozo-16	Pozo-17	571.57	41.9	0.024	Circle	8
66	Tub-17	Pozo-17	Pozo-18	571.34	47.3	0.005	Circle	8
68	Tub-18	Pozo-18	Pozo-19	571.09	49.3	0.005	Circle	8
70	Tub-19	Pozo-19	Pozo-20	571.03	13.2	0.005	Circle	8
72	Tub-20	Pozo-20	Pozo-21	570.86	33.3	0.005	Circle	8
74	Tub-21	Pozo-21	Pozo-22	564.56	90.2	0.07	Circle	8
76	Tub-22	Pozo-22	Pozo-23	559.34	83.8	0.062	Circle	8
78	Tub-23	Pozo-23	Pozo-24	559.15	37.2	0.005	Circle	8
80	Tub-24	Pozo-24	Pozo-25	558.93	44.8	0.005	Circle	8
82	Tub-25	Pozo-25	Pozo-26	555.87	70.1	0.044	Circle	8
84	Tub-26	Pozo-26	Pozo-27	550.08	70.2	0.083	Circle	8
86	Tub-27	Pozo-27	Pozo-28	547.71	64.9	0.036	Circle	8
88	Tub-28	Pozo-28	Pozo-29	542.32	64.7	0.083	Circle	8
90	Tub-29	Pozo-29	Pozo-30	539.03	49.8	0.066	Circle	8

92	Tub-30	Pozo-30	Pozo-31	538.56	48.7	0.01	Circle	8
94	Tub-31	Pozo-31	Pozo-32	537.01	72.6	0.021	Circle	8
96	Tub-32	Pozo-32	Pozo-33	531.57	88.2	0.062	Circle	8
108	Tub-34	Pozo-33	Pozo-34	528.11	47.6	0.073	Circle	8
109	Tub-35	Pozo-34	Desc-1	525.39	44.9	0.061	Circle	8
112	Tub-36	Pozo-35	Pozo-1	604.37	99.3	0.069	Circle	8
120	Tub-39	Pozo-36	Pozo-37	603.37	94.5	0.021	Circle	8
121	Tub-40	Pozo-37	Pozo-2	600.36	98.6	0.031	Circle	8
123	Tub-41	Pozo-38	Pozo-37	607.71	86.1	0.04	Circle	8
126	Tub-42	Pozo-39	Pozo-40	600.69	85.2	0.081	Circle	8
128	Tub-43	Pozo-40	Pozo-41	599.19	96.1	0.016	Circle	8
129	Tub-44	Pozo-41	Pozo-3	598.23	97.3	0.01	Circle	8
131	Tub-45	Pozo-42	Pozo-40	600.69	79.5	0.04	Circle	8
133	Tub-46	Pozo-43	Pozo-41	599.19	82.7	0.098	Circle	8
137	Tub-47	Pozo-44	Pozo-45	597.9	91.2	0.054	Circle	8
139	Tub-48	Pozo-45	Pozo-46	596.19	97.6	0.018	Circle	8
140	Tub-49	Pozo-46	Pozo-4	594.96	96.8	0.013	Circle	8
142	Tub-50	Pozo-47	Pozo-45	597.9	85.9	0.053	Circle	8
144	Tub-51	Pozo-48	Pozo-46	596.19	88.2	0.062	Circle	8
152	Tub-52	Pozo-49	Pozo-50	593.32	31.8	0.04	Circle	8
153	Tub-53	Pozo-50	Pozo-6	591.77	99.1	0.016	Circle	8
155	Tub-54	Pozo-51	Pozo-50	593.32	88.9	0.047	Circle	8
157	Tub-55	Pozo-52	Pozo-6	591.77	89	0.044	Circle	8
160	Tub-56	Pozo-53	Pozo-54	587.75	71.4	0.04	Circle	8
162	Tub-57	Pozo-54	Pozo-55	586.98	64.9	0.012	Circle	8
163	Tub-58	Pozo-55	Pozo-8	586.7	38.4	0.007	Circle	8
166	Tub-59	Pozo-56	Pozo-57	591.24	47.5	0.046	Circle	8
167	Tub-60	Pozo-57	Pozo-54	587.75	54.8	0.064	Circle	8
170	Tub-61	Pozo-58	Pozo-59	589.67	62.1	0.041	Circle	8
171	Tub-62	Pozo-59	Pozo-55	586.98	52.3	0.051	Circle	8
174	Tub-63	Pozo-60	Pozo-61	586.14	76.4	0.04	Circle	8
176	Tub-64	Pozo-61	Pozo-62	585.16	62.8	0.016	Circle	8
177	Tub-65	Pozo-62	Pozo-10	584.65	51.3	0.01	Circle	8
179	Tub-66	Pozo-63	Pozo-61	586.14	42.7	0.063	Circle	8
181	Tub-67	Pozo-64	Pozo-62	585.16	44.8	0.06	Circle	8
184	Tub-68	Pozo-65	Pozo-66	584.12	70.7	0.04	Circle	8
185	Tub-69	Pozo-66	Pozo-11	582.31	82.1	0.022	Circle	8
188	Tub-70	Pozo-67	Pozo-68	581.88	49.2	0.04	Circle	8
190	Tub-71	Pozo-68	Pozo-69	580.68	54.6	0.022	Circle	8

191	Tub-72	Pozo-69	Pozo-12	579.84	53.7	0.016	Circle	8
-----	--------	---------	---------	--------	------	-------	--------	---

**Tabla 10-2, Resultado de análisis de pozos de visita**

ID	Label	Elevation (Ground) (m)	Elevation (Rim) (m)	Elevation (Invert) (m)	Flow (Total In) (L/s)	Flow (Total Out) (L/s)
32	Pozo-1	608.24	608.24	604.37	0.4	0.8
33	Pozo-2	605.56	605.56	600.36	2	2.4
35	Pozo-3	601.34	601.34	592.01	4.4	4.79
37	Pozo-4	595.76	595.76	590.81	6.79	7.19
39	Pozo-5	593.12	593.12	589.14	7.19	7.59
41	Pozo-6	592.59	592.59	588.19	9.19	9.59
43	Pozo-7	590.16	590.16	585.84	9.59	9.99
45	Pozo-8	588.41	588.41	579.67	12.79	13.19
47	Pozo-9	587.41	587.41	585.25	13.19	13.59
49	Pozo-10	586.94	586.94	581.13	15.59	15.98
51	Pozo-11	585	585	576.62	16.78	17.18
53	Pozo-12	581.18	581.18	575.84	18.38	18.78
55	Pozo-13	579.79	579.79	574.45	18.78	19.18
57	Pozo-14	576.3	576.3	570.96	19.18	19.58
59	Pozo-15	575.02	575.02	569.68	19.58	19.98
61	Pozo-16	573.4	573.4	568.06	19.98	20.38
63	Pozo-17	572.38	572.38	567.04	20.38	20.78
65	Pozo-18	573.43	573.43	568.09	20.78	21.18
67	Pozo-19	574	574	568.66	21.18	21.58
69	Pozo-20	574	574	568.66	21.58	21.98
71	Pozo-21	573.51	573.51	568.17	21.98	22.38
73	Pozo-22	565.37	565.37	560.03	22.38	22.78
75	Pozo-23	562.8	562.8	557.46	22.78	23.18
77	Pozo-24	563.71	563.71	558.37	23.18	23.58
79	Pozo-25	560.82	560.82	555.48	23.58	23.98
81	Pozo-26	556.68	556.68	551.34	23.98	24.38
83	Pozo-27	550.88	550.88	545.54	24.38	24.78
85	Pozo-28	548.52	548.52	543.18	24.78	25.18

87	Pozo-29	543.12	543.12	537.78	25.18	25.58
89	Pozo-30	539.89	539.89	534.55	25.58	25.98
91	Pozo-31	539.46	539.46	534.12	25.98	26.38
93	Pozo-32	537.86	537.86	532.52	26.38	26.77
95	Pozo-33	532.42	532.42	527.08	26.78	27.17
107	Pozo-34	528.97	528.97	523.63	27.18	27.57
111	Pozo-35	612.05	612.05	606.71	0	0.4
118	Pozo-36	606.17	606.17	600.83	0	0.4
119	Pozo-37	608.71	608.71	603.37	0.8	1.2
122	Pozo-38	611.98	611.98	606.64	0	0.4
124	Pozo-39	608.42	608.42	603.08	0	0.4
125	Pozo-40	603.88	603.88	598.54	0.8	1.2
127	Pozo-41	603.02	603.02	597.68	1.6	2
130	Pozo-42	604.7	604.7	599.36	0	0.4
132	Pozo-43	608.08	608.08	602.74	0	0.4
135	Pozo-44	603.64	603.64	598.3	0	0.4
136	Pozo-45	598.71	598.71	593.37	0.8	1.2
138	Pozo-46	596.99	596.99	591.65	1.6	2
141	Pozo-47	603.24	603.24	597.9	0	0.4
143	Pozo-48	602.46	602.46	597.12	0	0.4
146	Pozo-49	595.4	595.4	590.06	0	0.4
147	Pozo-50	594.69	594.69	589.35	0.8	1.2
154	Pozo-51	598.28	598.28	592.94	0	0.4
156	Pozo-52	596.47	596.47	591.13	0	0.4
158	Pozo-53	591.43	591.43	586.09	0	0.4
159	Pozo-54	589.82	589.82	584.48	1.2	1.6
161	Pozo-55	588.8	588.8	583.46	2.4	2.8
164	Pozo-56	594.22	594.22	588.88	0	0.4
165	Pozo-57	592.04	592.04	586.7	0.4	0.8
168	Pozo-58	593.03	593.03	587.69	0	0.4
169	Pozo-59	590.47	590.47	585.13	0.4	0.8
172	Pozo-60	590.02	590.02	584.68	0	0.4
173	Pozo-61	588.47	588.47	583.13	0.8	1.2
175	Pozo-62	587.54	587.54	582.2	1.6	2
178	Pozo-63	589.62	589.62	584.28	0	0.4
180	Pozo-64	588.65	588.65	583.31	0	0.4
182	Pozo-65	587.78	587.78	582.44	0	0.4
183	Pozo-66	586.79	586.79	581.45	0.4	0.8
186	Pozo-67	584.67	584.67	579.33	0	0.4

187	Pozo-68	583.59	583.59	578.25	0.4	0.8
189	Pozo-69	582.3	582.3	576.96	0.8	1.2

## Resultados del diseño utilizando SEWERCAD

### 10.1.1 Tuberías

Tabla 10-3, resultado del diseño para las tuberías

LABEL	START NODE	STOP NODE	LENGTH (SCALED) (M)	SLOPE (CALCULATED) (M/M)	DIAMETER (IN)	FLOW (L/S)	MANNING'S N	VELOCITY (M/S)	MATERIAL	SECTION TYPE
TUB-1	Pozo-1	Pozo-2	93.10	0.03	8.00	0.83	0.01	0.87	PVC	Circle
TUB-2	Pozo-2	Pozo-3	97.70	0.02	8.00	1.66	0.01	0.87	PVC	Circle
TUB-3	Pozo-3	Pozo-4	96.60	0.03	8.00	2.91	0.01	1.28	PVC	Circle
TUB-4	Pozo-4	Pozo-5	97.40	0.03	8.00	4.16	0.01	1.32	PVC	Circle
TUB-5	Pozo-5	Pozo-6	95.70	0.01	8.00	4.36	0.01	0.77	PVC	Circle
TUB-6	Pozo-6	Pozo-7	66.90	0.04	8.00	5.40	0.01	1.57	PVC	Circle
TUB-7	Pozo-7	Pozo-8	62.20	0.04	8.00	5.61	0.01	1.69	PVC	Circle
TUB-8	Pozo-8	Pozo-9	39.70	0.01	8.00	7.27	0.01	0.85	PVC	Circle
TUB-9	Pozo-9	Pozo-10	22.70	0.08	8.00	7.48	0.01	2.31	PVC	Circle
TUB-10	Pozo-10	Pozo-11	92.80	0.03	8.00	8.73	0.01	1.60	PVC	Circle
TUB-11	Pozo-11	Pozo-12	92.70	0.03	8.00	9.35	0.01	1.66	PVC	Circle
TUB-12	Pozo-12	Pozo-13	80.00	0.01	8.00	10.18	0.01	1.23	PVC	Circle
TUB-13	Pozo-13	Pozo-14	65.60	0.05	8.00	10.39	0.01	2.19	PVC	Circle
TUB-14	Pozo-14	Pozo-15	46.70	0.03	8.00	10.60	0.01	1.74	PVC	Circle
TUB-15	Pozo-15	Pozo-16	46.40	0.04	8.00	10.81	0.01	1.91	PVC	Circle
TUB-16	Pozo-16	Pozo-17	41.90	0.02	8.00	11.01	0.01	1.69	PVC	Circle
TUB-17	Pozo-17	Pozo-18	47.30	0.01	8.00	11.22	0.01	0.96	PVC	Circle
TUB-18	Pozo-18	Pozo-19	49.30	0.01	8.00	11.43	0.01	0.96	PVC	Circle
TUB-19	Pozo-19	Pozo-20	13.20	0.01	8.00	11.64	0.01	0.97	PVC	Circle
TUB-20	Pozo-20	Pozo-21	33.30	0.01	8.00	11.84	0.01	0.97	PVC	Circle
TUB-21	Pozo-21	Pozo-22	90.20	0.07	8.00	12.05	0.01	2.52	PVC	Circle
TUB-22	Pozo-22	Pozo-23	83.80	0.06	8.00	12.26	0.01	2.43	PVC	Circle
TUB-23	Pozo-23	Pozo-24	37.20	0.01	8.00	25.14	0.01	1.17	PVC	Circle

<b>TUB-24</b>	Pozo-24	Pozo-25	44.80	0.01	8.00	25.35	0.01	1.17	PVC	Circle
<b>TUB-25</b>	Pozo-25	Pozo-26	70.10	0.04	8.00	26.18	0.01	2.65	PVC	Circle
<b>TUB-26</b>	Pozo-26	Pozo-27	70.20	0.08	8.00	26.39	0.01	3.34	PVC	Circle
<b>TUB-27</b>	Pozo-27	Pozo-28	64.90	0.04	8.00	26.60	0.01	2.50	PVC	Circle
<b>TUB-28</b>	Pozo-28	Pozo-29	64.70	0.08	8.00	50.29	0.01	4.02	PVC	Circle
<b>TUB-29</b>	Pozo-29	Pozo-30	49.80	0.07	8.00	50.50	0.01	3.70	PVC	Circle
<b>TUB-30</b>	Pozo-30	Pozo-31	48.70	0.01	10.00	50.70	0.01	1.73	PVC	Circle
<b>TUB-31</b>	Pozo-31	Pozo-32	72.60	0.02	10.00	50.91	0.01	2.45	PVC	Circle
<b>TUB-32</b>	Pozo-32	Pozo-33	88.20	0.06	10.00	51.12	0.01	3.57	PVC	Circle
<b>TUB-34</b>	Pozo-33	Pozo-34	47.60	0.07	10.00	51.33	0.01	3.79	PVC	Circle
<b>TUB-35</b>	Pozo-34	Desc-1	44.90	0.06	10.00	51.53	0.01	3.55	PVC	Circle
<b>TUB-36</b>	Pozo-36	Pozo-1	99.30	0.08	8.00	0.21	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-37</b>	Pozo-37	Pozo-38	99.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-38</b>	Pozo-38	Pozo-1	89.80	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-39</b>	Pozo-39	Pozo-40	94.50	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-40</b>	Pozo-40	Pozo-2	98.60	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-41</b>	Pozo-41	Pozo-40	86.10	0.11	8.00	0.21	0.01	0.87	PVC	Circle
<b>TUB-42</b>	Pozo-42	Pozo-43	85.20	0.08	8.00	0.21	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-43</b>	Pozo-43	Pozo-44	96.10	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-44</b>	Pozo-44	Pozo-3	97.30	0.01	8.00	1.04	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-45</b>	Pozo-45	Pozo-43	79.50	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-46</b>	Pozo-46	Pozo-44	82.70	0.10	8.00	0.21	0.01	0.83	PVC	Circle
<b>TUB-47</b>	Pozo-47	Pozo-48	91.20	0.05	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-48</b>	Pozo-48	Pozo-49	97.60	0.02	8.00	0.62	0.01	0.63	PVC	Circle
<b>TUB-49</b>	Pozo-49	Pozo-4	96.80	0.01	8.00	1.04	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-50</b>	Pozo-50	Pozo-48	85.90	0.05	8.00	0.21	0.01	0.66	PVC	Circle
<b>TUB-51</b>	Pozo-51	Pozo-49	88.20	0.06	8.00	0.21	0.01	0.70	PVC	Circle
<b>TUB-52</b>	Pozo-52	Pozo-53	31.80	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-53</b>	Pozo-53	Pozo-6	99.10	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-54</b>	Pozo-54	Pozo-53	88.90	0.05	8.00	0.21	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-55</b>	Pozo-55	Pozo-6	89.00	0.04	8.00	0.21	0.01	0.64	PVC	Circle
<b>TUB-56</b>	Pozo-56	Pozo-57	71.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-57</b>	Pozo-57	Pozo-58	64.90	0.01	8.00	0.83	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-58</b>	Pozo-58	Pozo-8	38.40	0.01	8.00	1.45	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-59</b>	Pozo-59	Pozo-60	47.50	0.05	8.00	0.21	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-60</b>	Pozo-60	Pozo-57	54.80	0.06	8.00	0.42	0.01	0.89	PVC	Circle
<b>TUB-61</b>	Pozo-61	Pozo-62	62.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-62</b>	Pozo-62	Pozo-58	52.30	0.05	8.00	0.42	0.01	0.82	PVC	Circle
<b>TUB-63</b>	Pozo-63	Pozo-64	76.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-64</b>	Pozo-64	Pozo-65	62.80	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-65</b>	Pozo-65	Pozo-10	51.30	0.01	8.00	1.04	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-66</b>	Pozo-66	Pozo-64	42.70	0.06	8.00	0.21	0.01	0.71	PVC	Circle

<b>TUB-67</b>	Pozo-67	Pozo-65	44.80	0.06	8.00	0.21	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-68</b>	Pozo-68	Pozo-69	70.70	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-69</b>	Pozo-69	Pozo-11	82.10	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-70</b>	Pozo-70	Pozo-71	49.20	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-71</b>	Pozo-71	Pozo-72	54.60	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-72</b>	Pozo-72	Pozo-12	53.70	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-73</b>	Pozo-73	Pozo-74	31.60	0.03	8.00	0.42	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-74</b>	Pozo-74	Pozo-75	48.50	0.05	8.00	0.83	0.01	0.96	PVC	Circle
<b>TUB-75</b>	Pozo-75	Pozo-76	48.60	0.08	8.00	1.25	0.01	1.34	PVC	Circle
<b>TUB-76</b>	Pozo-76	Pozo-77	48.60	0.05	8.00	1.66	0.01	1.19	PVC	Circle
<b>TUB-77</b>	Pozo-77	Pozo-78	48.30	0.06	8.00	2.08	0.01	1.38	PVC	Circle
<b>TUB-78</b>	Pozo-78	Pozo-79	77.40	0.06	8.00	2.49	0.01	1.46	PVC	Circle
<b>TUB-79</b>	Pozo-79	Pozo-80	52.50	0.05	8.00	2.91	0.01	1.43	PVC	Circle
<b>TUB-80</b>	Pozo-80	Pozo-81	52.00	0.06	8.00	3.53	0.01	1.65	PVC	Circle
<b>TUB-81</b>	Pozo-81	Pozo-82	26.50	0.03	8.00	4.16	0.01	1.39	PVC	Circle
<b>TUB-82</b>	Pozo-82	Pozo-83	22.20	0.09	8.00	6.44	0.01	2.30	PVC	Circle
<b>TUB-83</b>	Pozo-83	Pozo-84	27.40	0.09	8.00	7.07	0.01	2.35	PVC	Circle
<b>TUB-84</b>	Pozo-84	Pozo-85	32.50	0.03	8.00	7.69	0.01	1.55	PVC	Circle
<b>TUB-85</b>	Pozo-85	Pozo-86	15.50	0.04	8.00	8.31	0.01	1.82	PVC	Circle
<b>TUB-86</b>	Pozo-86	Pozo-87	13.00	0.09	8.00	8.94	0.01	2.50	PVC	Circle
<b>TUB-87</b>	Pozo-87	Pozo-88	32.50	0.07	8.00	9.56	0.01	2.39	PVC	Circle
<b>TUB-88</b>	Pozo-88	Pozo-89	36.60	0.07	8.00	10.60	0.01	2.36	PVC	Circle
<b>TUB-89</b>	Pozo-89	Pozo-90	53.80	0.03	8.00	11.43	0.01	1.79	PVC	Circle
<b>TUB-90</b>	Pozo-90	Pozo-91	52.20	0.01	8.00	12.47	0.01	0.99	PVC	Circle
<b>TUB-91</b>	Pozo-91	Pozo-23	26.50	0.01	8.00	12.68	0.01	0.99	PVC	Circle
<b>TUB-92</b>	Pozo-92	Pozo-73	75.10	0.07	8.00	0.21	0.01	0.75	PVC	Circle
<b>TUB-93</b>	Pozo-93	Pozo-74	77.80	0.06	8.00	0.21	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-94</b>	Pozo-94	Pozo-75	78.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-95</b>	Pozo-95	Pozo-76	79.50	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-96</b>	Pozo-96	Pozo-77	81.90	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-97</b>	Pozo-97	Pozo-78	87.80	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-98</b>	Pozo-98	Pozo-79	92.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-99</b>	Pozo-99	Pozo-100	46.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-100</b>	Pozo-100	Pozo-80	55.60	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-101</b>	Pozo-101	Pozo-102	46.50	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-102</b>	Pozo-102	Pozo-81	54.90	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-103</b>	Pozo-103	Pozo-104	44.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-104</b>	Pozo-104	Pozo-83	55.40	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-105</b>	Pozo-105	Pozo-106	50.00	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-106</b>	Pozo-106	Pozo-85	53.40	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-107</b>	Pozo-107	Pozo-108	53.70	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-108</b>	Pozo-108	Pozo-87	59.20	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle



<b>TUB-109</b>	Pozo-109	Pozo-110	64.80	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-110</b>	Pozo-110	Pozo-88	64.90	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-111</b>	Pozo-111	Pozo-89	87.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-112</b>	Pozo-112	Pozo-113	51.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-113</b>	Pozo-113	Pozo-90	53.20	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-114</b>	Pozo-114	Pozo-115	25.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-115</b>	Pozo-115	Pozo-116	48.80	0.01	8.00	0.83	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-116</b>	Pozo-116	Pozo-117	48.60	0.01	8.00	1.45	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-117</b>	Pozo-117	Pozo-82	55.60	0.01	8.00	2.08	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-118</b>	Pozo-118	Pozo-119	84.90	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-119</b>	Pozo-119	Pozo-84	85.50	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-120</b>	Pozo-120	Pozo-121	47.80	0.06	8.00	0.21	0.01	0.70	PVC	Circle
<b>TUB-121</b>	Pozo-121	Pozo-117	75.50	0.08	8.00	0.42	0.01	0.93	PVC	Circle
<b>TUB-122</b>	Pozo-122	Pozo-123	34.50	0.06	8.00	0.21	0.01	0.70	PVC	Circle
<b>TUB-123</b>	Pozo-123	Pozo-116	69.20	0.07	8.00	0.42	0.01	0.92	PVC	Circle
<b>TUB-124</b>	Pozo-124	Pozo-125	47.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-125</b>	Pozo-125	Pozo-115	59.60	0.05	8.00	0.42	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-126</b>	Pozo-126	Pozo-127	69.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-127</b>	Pozo-127	Pozo-86	94.10	0.03	8.00	0.42	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-128</b>	Pozo-128	Pozo-129	68.20	0.05	8.00	0.21	0.01	0.66	PVC	Circle
<b>TUB-129</b>	Pozo-129	Pozo-88	80.50	0.05	8.00	0.42	0.01	0.82	PVC	Circle
<b>TUB-130</b>	Pozo-130	Pozo-131	78.90	0.05	8.00	0.21	0.01	0.66	PVC	Circle
<b>TUB-131</b>	Pozo-131	Pozo-89	73.10	0.09	8.00	0.42	0.01	1.01	PVC	Circle
<b>TUB-132</b>	Pozo-132	Pozo-133	78.80	0.08	8.00	0.21	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-133</b>	Pozo-133	Pozo-90	75.00	0.09	8.00	0.42	0.01	1.01	PVC	Circle
<b>TUB-134</b>	Pozo-134	Pozo-135	71.80	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-135</b>	Pozo-135	Pozo-136	69.50	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-136</b>	Pozo-136	Pozo-25	67.90	0.07	8.00	0.62	0.01	1.00	PVC	Circle
<b>TUB-137</b>	Pozo-137	Pozo-138	52.80	0.04	8.00	0.21	0.01	0.63	PVC	Circle
<b>TUB-138</b>	Pozo-138	Pozo-139	62.20	0.05	8.00	0.62	0.01	0.92	PVC	Circle
<b>TUB-139</b>	Pozo-139	Pozo-140	51.70	0.05	8.00	1.04	0.01	1.07	PVC	Circle
<b>TUB-140</b>	Pozo-140	Pozo-141	49.00	0.08	8.00	1.45	0.01	1.37	PVC	Circle
<b>TUB-141</b>	Pozo-141	Pozo-142	45.80	0.09	8.00	1.87	0.01	1.58	PVC	Circle
<b>TUB-142</b>	Pozo-142	Pozo-143	49.50	0.06	8.00	2.29	0.01	1.43	PVC	Circle
<b>TUB-143</b>	Pozo-143	Pozo-144	47.90	0.04	8.00	2.70	0.01	1.29	PVC	Circle
<b>TUB-144</b>	Pozo-144	Pozo-145	42.10	0.08	8.00	2.91	0.01	1.71	PVC	Circle
<b>TUB-145</b>	Pozo-145	Pozo-146	19.30	0.08	8.00	3.32	0.01	1.83	PVC	Circle
<b>TUB-146</b>	Pozo-146	Pozo-147	50.00	0.06	8.00	3.74	0.01	1.68	PVC	Circle
<b>TUB-147</b>	Pozo-147	Pozo-148	51.90	0.05	8.00	4.16	0.01	1.59	PVC	Circle
<b>TUB-148</b>	Pozo-148	Pozo-149	50.90	0.06	8.00	4.57	0.01	1.78	PVC	Circle
<b>TUB-149</b>	Pozo-149	Pozo-150	44.30	0.07	8.00	4.99	0.01	1.90	PVC	Circle
<b>TUB-150</b>	Pozo-150	Pozo-151	29.20	0.05	8.00	5.40	0.01	1.81	PVC	Circle

<b>TUB-151</b>	Pozo-151	Pozo-152	35.10	0.05	8.00	5.82	0.01	1.80	PVC	Circle
<b>TUB-152</b>	Pozo-152	Pozo-153	38.50	0.03	8.00	6.23	0.01	1.61	PVC	Circle
<b>TUB-153</b>	Pozo-153	Pozo-154	47.60	0.04	8.00	6.65	0.01	1.70	PVC	Circle
<b>TUB-154</b>	Pozo-154	Pozo-155	48.20	0.04	8.00	6.86	0.01	1.71	PVC	Circle
<b>TUB-155</b>	Pozo-155	Pozo-156	48.20	0.10	8.00	7.27	0.01	2.49	PVC	Circle
<b>TUB-156</b>	Pozo-156	Pozo-157	62.30	0.01	8.00	8.10	0.01	0.88	PVC	Circle
<b>TUB-157</b>	Pozo-157	Pozo-158	73.60	0.05	8.00	9.14	0.01	2.07	PVC	Circle
<b>TUB-158</b>	Pozo-158	Pozo-159	50.90	0.05	8.00	9.97	0.01	2.07	PVC	Circle
<b>TUB-159</b>	Pozo-159	Pozo-28	51.00	0.07	8.00	10.18	0.01	2.45	PVC	Circle
<b>TUB-160</b>	Pozo-160	Pozo-138	25.60	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-161</b>	Pozo-161	Pozo-139	77.80	0.06	8.00	0.21	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-162</b>	Pozo-162	Pozo-140	76.40	0.05	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-163</b>	Pozo-163	Pozo-141	77.90	0.06	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-164</b>	Pozo-164	Pozo-142	80.60	0.06	8.00	0.21	0.01	0.68	PVC	Circle
<b>TUB-165</b>	Pozo-165	Pozo-143	78.20	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-166</b>	Pozo-166	Pozo-145	82.20	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-167</b>	Pozo-167	Pozo-146	79.90	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-168</b>	Pozo-168	Pozo-147	81.00	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-169</b>	Pozo-169	Pozo-148	79.70	0.05	8.00	0.21	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-170</b>	Pozo-170	Pozo-149	79.10	0.05	8.00	0.21	0.01	0.66	PVC	Circle
<b>TUB-171</b>	Pozo-171	Pozo-150	80.40	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-172</b>	Pozo-172	Pozo-151	83.30	0.08	8.00	0.21	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-173</b>	Pozo-173	Pozo-152	81.30	0.10	8.00	0.21	0.01	0.83	PVC	Circle
<b>TUB-174</b>	Pozo-174	Pozo-153	56.60	0.10	8.00	0.21	0.01	0.83	PVC	Circle
<b>TUB-175</b>	Pozo-175	Pozo-155	97.90	0.06	8.00	0.21	0.01	0.71	PVC	Circle
<b>TUB-176</b>	Pozo-176	Pozo-156	97.60	0.08	8.00	0.21	0.01	0.76	PVC	Circle
<b>TUB-177</b>	Pozo-177	Pozo-178	56.00	0.04	8.00	0.21	0.01	0.64	PVC	Circle
<b>TUB-178</b>	Pozo-178	Pozo-157	48.50	0.04	8.00	0.42	0.01	0.75	PVC	Circle
<b>TUB-179</b>	Pozo-179	Pozo-180	51.50	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-180</b>	Pozo-180	Pozo-156	54.50	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-181</b>	Pozo-181	Pozo-182	20.50	0.05	8.00	0.21	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-182</b>	Pozo-182	Pozo-157	69.70	0.06	8.00	0.42	0.01	0.86	PVC	Circle
<b>TUB-183</b>	Pozo-183	Pozo-184	62.20	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-184</b>	Pozo-184	Pozo-158	61.20	0.03	8.00	0.42	0.01	0.64	PVC	Circle
<b>TUB-185</b>	Pozo-185	Pozo-158	63.30	0.07	8.00	0.21	0.01	0.74	PVC	Circle
<b>TUB-186</b>	Pozo-186	Pozo-187	31.50	0.05	8.00	0.21	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-187</b>	Pozo-187	Pozo-188	49.40	0.06	8.00	0.42	0.01	0.85	PVC	Circle
<b>TUB-188</b>	Pozo-188	Pozo-189	47.60	0.07	8.00	0.62	0.01	1.05	PVC	Circle
<b>TUB-189</b>	Pozo-189	Pozo-190	47.10	0.06	8.00	1.45	0.01	1.28	PVC	Circle
<b>TUB-190</b>	Pozo-190	Pozo-191	49.50	0.08	8.00	2.29	0.01	1.64	PVC	Circle
<b>TUB-191</b>	Pozo-191	Pozo-192	66.10	0.08	8.00	3.12	0.01	1.73	PVC	Circle
<b>TUB-192</b>	Pozo-192	Pozo-193	27.10	0.06	8.00	3.53	0.01	1.65	PVC	Circle

<b>TUB-193</b>	Pozo-193	Pozo-194	51.80	0.06	8.00	3.95	0.01	1.72	PVC	Circle
<b>TUB-194</b>	Pozo-194	Pozo-195	52.20	0.04	8.00	4.36	0.01	1.48	PVC	Circle
<b>TUB-195</b>	Pozo-195	Pozo-196	45.90	0.05	8.00	4.78	0.01	1.66	PVC	Circle
<b>TUB-197</b>	Pozo-196	Pozo-197	36.20	0.05	8.00	5.20	0.01	1.77	PVC	Circle
<b>TUB-198</b>	Pozo-197	Pozo-198	26.90	0.01	8.00	5.61	0.01	1.02	PVC	Circle
<b>TUB-199</b>	Pozo-198	Pozo-199	38.70	0.02	8.00	6.03	0.01	1.24	PVC	Circle
<b>TUB-200</b>	Pozo-199	Pozo-200	39.80	0.02	8.00	6.44	0.01	1.34	PVC	Circle
<b>TUB-201</b>	Pozo-200	Pozo-201	26.20	0.10	8.00	6.86	0.01	2.38	PVC	Circle
<b>TUB-202</b>	Pozo-201	Pozo-202	45.10	0.06	8.00	7.07	0.01	1.99	PVC	Circle
<b>TUB-203</b>	Pozo-202	Pozo-203	53.30	0.07	8.00	7.69	0.01	2.22	PVC	Circle
<b>TUB-204</b>	Pozo-203	Pozo-204	45.90	0.07	8.00	8.31	0.01	2.21	PVC	Circle
<b>TUB-205</b>	Pozo-204	Pozo-205	25.70	0.03	8.00	12.47	0.01	1.97	PVC	Circle
<b>TUB-206</b>	Pozo-205	Pozo-206	50.50	0.07	8.00	12.68	0.01	2.55	PVC	Circle
<b>TUB-207</b>	Pozo-206	Pozo-207	49.40	0.05	8.00	12.88	0.01	2.26	PVC	Circle
<b>TUB-208</b>	Pozo-207	Pozo-208	56.20	0.05	8.00	13.09	0.01	2.22	PVC	Circle
<b>TUB-209</b>	Pozo-208	Pozo-28	97.20	0.07	8.00	13.30	0.01	2.53	PVC	Circle
<b>TUB-210</b>	Pozo-209	Pozo-210	41.40	0.06	8.00	0.21	0.01	0.68	PVC	Circle
<b>TUB-211</b>	Pozo-210	Pozo-189	59.80	0.02	8.00	0.62	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-212</b>	Pozo-211	Pozo-212	38.20	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-213</b>	Pozo-212	Pozo-190	60.20	0.05	8.00	0.62	0.01	0.92	PVC	Circle
<b>TUB-214</b>	Pozo-213	Pozo-214	29.70	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-215</b>	Pozo-214	Pozo-191	59.20	0.07	8.00	0.62	0.01	1.03	PVC	Circle
<b>TUB-216</b>	Pozo-215	Pozo-192	87.10	0.08	8.00	0.21	0.01	0.79	PVC	Circle
<b>TUB-217</b>	Pozo-216	Pozo-193	80.50	0.07	8.00	0.21	0.01	0.74	PVC	Circle
<b>TUB-218</b>	Pozo-217	Pozo-194	82.50	0.06	8.00	0.21	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-219</b>	Pozo-218	Pozo-195	84.30	0.05	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-220</b>	Pozo-219	Pozo-196	80.40	0.06	8.00	0.21	0.01	0.71	PVC	Circle
<b>TUB-221</b>	Pozo-220	Pozo-197	84.10	0.07	8.00	0.21	0.01	0.75	PVC	Circle
<b>TUB-222</b>	Pozo-221	Pozo-198	83.40	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-223</b>	Pozo-222	Pozo-199	84.50	0.06	8.00	0.21	0.01	0.68	PVC	Circle
<b>TUB-224</b>	Pozo-223	Pozo-200	80.50	0.05	8.00	0.21	0.01	0.64	PVC	Circle
<b>TUB-225</b>	Pozo-224	Pozo-225	72.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-226</b>	Pozo-225	Pozo-202	56.10	0.06	8.00	0.42	0.01	0.86	PVC	Circle
<b>TUB-227</b>	Pozo-226	Pozo-227	56.40	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-228</b>	Pozo-227	Pozo-203	73.10	0.04	8.00	0.42	0.01	0.75	PVC	Circle
<b>TUB-229</b>	Pozo-228	Pozo-210	41.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-230</b>	Pozo-229	Pozo-212	41.90	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-231</b>	Pozo-230	Pozo-214	41.60	0.08	8.00	0.21	0.01	0.79	PVC	Circle
<b>TUB-232</b>	Pozo-231	Pozo-232	48.70	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-233</b>	Pozo-232	Pozo-233	45.70	0.04	8.00	0.42	0.01	0.75	PVC	Circle
<b>TUB-234</b>	Pozo-233	Pozo-234	14.80	0.06	8.00	0.62	0.01	0.95	PVC	Circle
<b>TUB-235</b>	Pozo-234	Pozo-235	35.90	0.08	8.00	0.83	0.01	1.18	PVC	Circle

<b>TUB-236</b>	Pozo-235	Pozo-236	40.00	0.08	8.00	1.04	0.01	1.27	PVC	Circle
<b>TUB-237</b>	Pozo-236	Pozo-237	48.90	0.08	8.00	1.25	0.01	1.33	PVC	Circle
<b>TUB-238</b>	Pozo-237	Pozo-238	50.20	0.05	8.00	1.45	0.01	1.23	PVC	Circle
<b>TUB-239</b>	Pozo-238	Pozo-239	46.50	0.03	8.00	1.66	0.01	1.08	PVC	Circle
<b>TUB-240</b>	Pozo-239	Pozo-240	28.40	0.04	8.00	1.87	0.01	1.15	PVC	Circle
<b>TUB-241</b>	Pozo-240	Pozo-241	26.20	0.03	8.00	2.08	0.01	1.14	PVC	Circle
<b>TUB-242</b>	Pozo-241	Pozo-242	37.60	0.04	8.00	2.29	0.01	1.24	PVC	Circle
<b>TUB-243</b>	Pozo-242	Pozo-243	41.20	0.04	8.00	2.49	0.01	1.29	PVC	Circle
<b>TUB-244</b>	Pozo-243	Pozo-244	22.40	0.01	8.00	2.70	0.01	0.64	PVC	Circle
<b>TUB-245</b>	Pozo-244	Pozo-245	44.20	0.06	8.00	2.91	0.01	1.58	PVC	Circle
<b>TUB-246</b>	Pozo-245	Pozo-246	53.60	0.09	8.00	3.12	0.01	1.85	PVC	Circle
<b>TUB-247</b>	Pozo-246	Pozo-247	42.10	0.07	8.00	3.32	0.01	1.71	PVC	Circle
<b>TUB-248</b>	Pozo-247	Pozo-248	61.80	0.03	8.00	3.53	0.01	1.36	PVC	Circle
<b>TUB-249</b>	Pozo-248	Pozo-204	72.30	0.04	8.00	3.95	0.01	1.52	PVC	Circle
<b>TUB-250</b>	Pozo-249	Pozo-248	36.50	0.11	8.00	0.21	0.01	0.87	PVC	Circle
<b>TUB-251</b>	Pozo-250	Pozo-251	65.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-252</b>	Pozo-251	Pozo-252	38.00	0.11	8.00	0.42	0.01	1.06	PVC	Circle
<b>TUB-253</b>	Pozo-252	Pozo-253	54.90	0.11	8.00	0.62	0.01	1.22	PVC	Circle
<b>TUB-254</b>	Pozo-253	Pozo-254	42.30	0.02	8.00	1.45	0.01	0.93	PVC	Circle
<b>TUB-255</b>	Pozo-254	Pozo-255	51.20	0.01	8.00	1.66	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-256</b>	Pozo-255	Pozo-256	18.80	0.46	8.00	5.61	0.01	3.88	PVC	Circle
<b>TUB-257</b>	Pozo-256	Pozo-257	41.20	0.13	8.00	5.82	0.01	2.55	PVC	Circle
<b>TUB-258</b>	Pozo-257	Pozo-258	38.60	0.10	8.00	6.03	0.01	2.36	PVC	Circle
<b>TUB-259</b>	Pozo-258	Pozo-259	26.00	0.07	8.00	6.23	0.01	2.07	PVC	Circle
<b>TUB-260</b>	Pozo-259	Pozo-260	15.20	0.01	8.00	9.97	0.01	0.93	PVC	Circle
<b>TUB-261</b>	Pozo-260	Pozo-261	77.40	0.01	8.00	10.81	0.01	0.95	PVC	Circle
<b>TUB-262</b>	Pozo-261	Pozo-262	56.80	0.01	8.00	11.64	0.01	0.97	PVC	Circle
<b>TUB-263</b>	Pozo-262	Pozo-263	65.70	0.01	8.00	11.84	0.01	0.97	PVC	Circle
<b>TUB-264</b>	Pozo-263	Pozo-264	49.10	0.01	8.00	12.47	0.01	0.99	PVC	Circle
<b>TUB-265</b>	Pozo-264	Pozo-265	49.10	0.01	8.00	13.09	0.01	1.41	PVC	Circle
<b>TUB-266</b>	Pozo-265	Pozo-266	38.00	0.06	8.00	13.92	0.01	2.40	PVC	Circle
<b>TUB-267</b>	Pozo-266	Pozo-267	56.60	0.03	8.00	14.13	0.01	1.86	PVC	Circle
<b>TUB-268</b>	Pozo-267	Pozo-268	54.70	0.01	8.00	14.34	0.01	1.03	PVC	Circle
<b>TUB-269</b>	Pozo-268	Pozo-269	53.40	0.07	8.00	16.42	0.01	2.73	PVC	Circle
<b>TUB-270</b>	Pozo-269	Pozo-270	49.60	0.13	8.00	16.83	0.01	3.42	PVC	Circle
<b>TUB-271</b>	Pozo-270	Pozo-271	51.80	0.05	8.00	17.25	0.01	2.49	PVC	Circle
<b>TUB-272</b>	Pozo-271	Pozo-272	51.90	0.01	8.00	17.66	0.01	1.08	PVC	Circle
<b>TUB-273</b>	Pozo-272	Pozo-273	57.40	0.01	8.00	18.08	0.01	1.09	PVC	Circle
<b>TUB-274</b>	Pozo-273	Pozo-274	65.60	0.01	8.00	18.29	0.01	1.09	PVC	Circle
<b>TUB-275</b>	Pozo-274	Pozo-275	42.90	0.01	8.00	31.38	0.01	1.22	PVC	Circle
<b>TUB-276</b>	Pozo-275	Desc-2	31.80	0.01	8.00	31.59	0.01	1.22	PVC	Circle
<b>TUB-277</b>	Pozo-277	Pozo-278	62.70	0.08	8.00	0.21	0.01	0.78	PVC	Circle

<b>TUB-278</b>	Pozo-278	Pozo-279	52.50	0.09	8.00	0.42	0.01	0.98	PVC	Circle
<b>TUB-279</b>	Pozo-279	Pozo-253	62.60	0.18	8.00	0.62	0.01	1.42	PVC	Circle
<b>TUB-280</b>	Pozo-280	Pozo-281	44.70	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-281</b>	Pozo-281	Pozo-282	77.60	0.18	8.00	0.42	0.01	1.28	PVC	Circle
<b>TUB-282</b>	Pozo-282	Pozo-283	29.20	0.19	8.00	0.62	0.01	1.45	PVC	Circle
<b>TUB-283</b>	Pozo-283	Pozo-284	31.60	0.06	8.00	0.83	0.01	1.06	PVC	Circle
<b>TUB-284</b>	Pozo-284	Pozo-285	18.70	0.27	8.00	2.08	0.01	2.35	PVC	Circle
<b>TUB-285</b>	Pozo-285	Pozo-286	30.00	0.04	8.00	2.49	0.01	1.30	PVC	Circle
<b>TUB-286</b>	Pozo-286	Pozo-287	40.00	0.09	8.00	2.70	0.01	1.76	PVC	Circle
<b>TUB-287</b>	Pozo-287	Pozo-288	23.30	0.02	8.00	2.91	0.01	1.06	PVC	Circle
<b>TUB-288</b>	Pozo-288	Pozo-289	59.70	0.12	8.00	3.12	0.01	2.01	PVC	Circle
<b>TUB-289</b>	Pozo-289	Pozo-290	21.60	0.01	8.00	3.32	0.01	0.68	PVC	Circle
<b>TUB-290</b>	Pozo-290	Pozo-255	77.70	0.17	8.00	3.74	0.01	2.41	PVC	Circle
<b>TUB-291</b>	Pozo-291	Pozo-290	42.40	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-292</b>	Pozo-292	Pozo-285	62.70	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-293</b>	Pozo-293	Pozo-294	43.30	0.04	8.00	0.21	0.01	0.63	PVC	Circle
<b>TUB-294</b>	Pozo-294	Pozo-295	18.40	0.02	8.00	0.83	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-295</b>	Pozo-295	Pozo-284	9.90	0.19	8.00	1.04	0.01	1.70	PVC	Circle
<b>TUB-296</b>	Pozo-296	Pozo-297	66.90	0.16	8.00	0.21	0.01	0.99	PVC	Circle
<b>TUB-297</b>	Pozo-297	Pozo-294	70.80	0.19	8.00	0.42	0.01	1.32	PVC	Circle
<b>TUB-299</b>	Pozo-299	Pozo-300	81.20	0.14	8.00	0.21	0.01	0.95	PVC	Circle
<b>TUB-300</b>	Pozo-300	Pozo-301	64.10	0.18	8.00	0.42	0.01	1.30	PVC	Circle
<b>TUB-301</b>	Pozo-301	Pozo-302	51.20	0.13	8.00	0.62	0.01	1.30	PVC	Circle
<b>TUB-302</b>	Pozo-302	Pozo-303	61.20	0.05	8.00	0.83	0.01	0.98	PVC	Circle
<b>TUB-303</b>	Pozo-303	Pozo-304	77.00	0.14	8.00	1.66	0.01	1.78	PVC	Circle
<b>TUB-304</b>	Pozo-304	Pozo-305	35.30	0.28	8.00	1.87	0.01	2.34	PVC	Circle
<b>TUB-305</b>	Pozo-305	Pozo-259	75.10	0.31	8.00	3.53	0.01	2.95	PVC	Circle
<b>TUB-306</b>	Pozo-306	Pozo-307	88.80	0.13	8.00	0.21	0.01	0.93	PVC	Circle
<b>TUB-307</b>	Pozo-307	Pozo-308	71.40	0.13	8.00	0.42	0.01	1.14	PVC	Circle
<b>TUB-308</b>	Pozo-308	Pozo-303	81.90	0.13	8.00	0.62	0.01	1.28	PVC	Circle
<b>TUB-309</b>	Pozo-309	Pozo-310	33.70	0.14	8.00	0.21	0.01	0.94	PVC	Circle
<b>TUB-310</b>	Pozo-310	Pozo-311	50.90	0.12	8.00	0.42	0.01	1.10	PVC	Circle
<b>TUB-311</b>	Pozo-311	Pozo-312	77.00	0.12	8.00	0.62	0.01	1.26	PVC	Circle
<b>TUB-312</b>	Pozo-312	Pozo-313	82.00	0.11	8.00	1.04	0.01	1.42	PVC	Circle
<b>TUB-313</b>	Pozo-313	Pozo-305	95.80	0.21	8.00	1.45	0.01	1.94	PVC	Circle
<b>TUB-314</b>	Pozo-314	Pozo-313	44.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-315</b>	Pozo-315	Pozo-312	43.60	0.06	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-316</b>	Pozo-316	Pozo-317	80.60	0.13	8.00	0.21	0.01	0.92	PVC	Circle
<b>TUB-317</b>	Pozo-317	Pozo-318	77.90	0.26	8.00	0.42	0.01	1.42	PVC	Circle
<b>TUB-318</b>	Pozo-318	Pozo-260	45.10	0.33	8.00	0.62	0.01	1.76	PVC	Circle
<b>TUB-319</b>	Pozo-319	Pozo-320	56.90	0.18	8.00	0.21	0.01	1.03	PVC	Circle
<b>TUB-320</b>	Pozo-320	Pozo-321	49.80	0.24	8.00	0.42	0.01	1.39	PVC	Circle

<b>TUB-321</b>	Pozo-321	Pozo-261	63.40	0.33	8.00	0.62	0.01	1.76	PVC	Circle
<b>TUB-322</b>	Pozo-322	Pozo-323	59.90	0.22	8.00	0.21	0.01	1.11	PVC	Circle
<b>TUB-323</b>	Pozo-323	Pozo-263	65.10	0.35	8.00	0.42	0.01	1.60	PVC	Circle
<b>TUB-324</b>	Pozo-324	Pozo-325	63.10	0.24	8.00	0.21	0.01	1.15	PVC	Circle
<b>TUB-325</b>	Pozo-325	Pozo-264	60.20	0.36	8.00	0.42	0.01	1.61	PVC	Circle
<b>TUB-326</b>	Pozo-326	Pozo-327	49.40	0.23	8.00	0.21	0.01	1.14	PVC	Circle
<b>TUB-327</b>	Pozo-327	Pozo-328	36.70	0.31	8.00	0.42	0.01	1.54	PVC	Circle
<b>TUB-328</b>	Pozo-328	Pozo-265	36.40	0.35	8.00	0.62	0.01	1.79	PVC	Circle
<b>TUB-329</b>	Pozo-329	Pozo-330	40.50	0.33	8.00	0.21	0.01	1.23	PVC	Circle
<b>TUB-330</b>	Pozo-330	Pozo-268	29.60	0.34	8.00	1.87	0.01	2.49	PVC	Circle
<b>TUB-331</b>	Pozo-331	Pozo-332	43.60	0.05	8.00	0.21	0.01	0.67	PVC	Circle
<b>TUB-332</b>	Pozo-332	Pozo-333	51.00	0.03	8.00	0.83	0.01	0.85	PVC	Circle
<b>TUB-333</b>	Pozo-333	Pozo-330	46.80	0.04	8.00	1.45	0.01	1.11	PVC	Circle
<b>TUB-334</b>	Pozo-334	Pozo-335	43.10	0.22	8.00	0.21	0.01	1.12	PVC	Circle
<b>TUB-335</b>	Pozo-335	Pozo-332	45.80	0.31	8.00	0.42	0.01	1.54	PVC	Circle
<b>TUB-336</b>	Pozo-336	Pozo-337	42.20	0.20	8.00	0.21	0.01	1.09	PVC	Circle
<b>TUB-337</b>	Pozo-337	Pozo-333	41.80	0.32	8.00	0.42	0.01	1.56	PVC	Circle
<b>TUB-338</b>	Pozo-338	Pozo-269	65.10	0.33	8.00	0.21	0.01	1.24	PVC	Circle
<b>TUB-339</b>	Pozo-339	Pozo-270	63.60	0.32	8.00	0.21	0.01	1.23	PVC	Circle
<b>TUB-340</b>	Pozo-340	Pozo-271	51.20	0.32	8.00	0.21	0.01	1.22	PVC	Circle
<b>TUB-341</b>	Pozo-341	Pozo-272	38.20	0.34	8.00	0.21	0.01	1.25	PVC	Circle
<b>TUB-342</b>	Pozo-342	Pozo-343	39.90	0.06	8.00	0.21	0.01	0.68	PVC	Circle
<b>TUB-343</b>	Pozo-343	Pozo-344	35.30	0.09	8.00	0.42	0.01	1.01	PVC	Circle
<b>TUB-344</b>	Pozo-344	Pozo-345	32.60	0.05	8.00	0.62	0.01	0.88	PVC	Circle
<b>TUB-345</b>	Pozo-345	Pozo-346	29.10	0.03	8.00	1.25	0.01	0.99	PVC	Circle
<b>TUB-346</b>	Pozo-346	Pozo-347	22.30	0.08	8.00	1.45	0.01	1.39	PVC	Circle
<b>TUB-347</b>	Pozo-347	Pozo-348	53.30	0.10	8.00	2.29	0.01	1.75	PVC	Circle
<b>TUB-348</b>	Pozo-348	Pozo-349	51.60	0.01	8.00	2.91	0.01	0.65	PVC	Circle
<b>TUB-349</b>	Pozo-349	Pozo-350	49.00	0.01	8.00	3.53	0.01	0.69	PVC	Circle
<b>TUB-350</b>	Pozo-350	Pozo-351	49.10	0.04	8.00	4.16	0.01	1.53	PVC	Circle
<b>TUB-351</b>	Pozo-351	Pozo-352	52.60	0.07	8.00	4.78	0.01	1.86	PVC	Circle
<b>TUB-352</b>	Pozo-352	Pozo-353	49.50	0.04	8.00	5.40	0.01	1.68	PVC	Circle
<b>TUB-353</b>	Pozo-353	Pozo-354	43.50	0.20	8.00	9.14	0.01	3.36	PVC	Circle
<b>TUB-354</b>	Pozo-354	Pozo-355	53.20	0.10	8.00	9.35	0.01	2.63	PVC	Circle
<b>TUB-355</b>	Pozo-355	Pozo-356	51.00	0.13	8.00	9.97	0.01	2.99	PVC	Circle
<b>TUB-356</b>	Pozo-356	Pozo-357	54.30	0.13	8.00	10.60	0.01	3.01	PVC	Circle
<b>TUB-357</b>	Pozo-357	Pozo-358	53.00	0.07	8.00	11.22	0.01	2.45	PVC	Circle
<b>TUB-358</b>	Pozo-358	Pozo-359	60.50	0.07	8.00	12.47	0.01	2.56	PVC	Circle
<b>TUB-359</b>	Pozo-359	Pozo-360	52.70	0.04	8.00	12.68	0.01	2.06	PVC	Circle
<b>TUB-360</b>	Pozo-360	Pozo-274	27.10	0.36	8.00	12.88	0.01	4.59	PVC	Circle
<b>TUB-361</b>	Pozo-361	Pozo-362	93.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-362</b>	Pozo-362	Pozo-345	74.50	0.09	8.00	0.42	0.01	1.00	PVC	Circle

<b>TUB-363</b>	Pozo-363	Pozo-364	45.90	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-364</b>	Pozo-364	Pozo-347	96.20	0.11	8.00	0.62	0.01	1.21	PVC	Circle
<b>TUB-365</b>	Pozo-365	Pozo-364	46.90	0.07	8.00	0.21	0.01	0.72	PVC	Circle
<b>TUB-366</b>	Pozo-366	Pozo-367	54.50	0.11	8.00	0.21	0.01	0.88	PVC	Circle
<b>TUB-367</b>	Pozo-367	Pozo-348	55.60	0.22	8.00	0.42	0.01	1.34	PVC	Circle
<b>TUB-368</b>	Pozo-368	Pozo-369	64.00	0.13	8.00	0.21	0.01	0.92	PVC	Circle
<b>TUB-369</b>	Pozo-369	Pozo-349	43.80	0.23	8.00	0.42	0.01	1.37	PVC	Circle
<b>TUB-370</b>	Pozo-370	Pozo-371	48.60	0.19	8.00	0.21	0.01	1.06	PVC	Circle
<b>TUB-371</b>	Pozo-371	Pozo-350	42.70	0.23	8.00	0.42	0.01	1.37	PVC	Circle
<b>TUB-372</b>	Pozo-372	Pozo-373	42.30	0.22	8.00	0.21	0.01	1.13	PVC	Circle
<b>TUB-373</b>	Pozo-373	Pozo-351	30.60	0.22	8.00	0.42	0.01	1.35	PVC	Circle
<b>TUB-374</b>	Pozo-374	Pozo-375	37.20	0.23	8.00	0.21	0.01	1.13	PVC	Circle
<b>TUB-375</b>	Pozo-375	Pozo-352	37.00	0.21	8.00	0.42	0.01	1.31	PVC	Circle
<b>TUB-376</b>	Pozo-376	Pozo-377	52.70	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-377</b>	Pozo-377	Pozo-353	79.70	0.20	8.00	3.53	0.01	2.51	PVC	Circle
<b>TUB-378</b>	Pozo-378	Pozo-379	53.30	0.20	8.00	0.21	0.01	1.08	PVC	Circle
<b>TUB-379</b>	Pozo-379	Pozo-355	57.10	0.21	8.00	0.42	0.01	1.32	PVC	Circle
<b>TUB-380</b>	Pozo-380	Pozo-381	58.00	0.22	8.00	0.21	0.01	1.11	PVC	Circle
<b>TUB-381</b>	Pozo-381	Pozo-356	58.50	0.23	8.00	0.42	0.01	1.36	PVC	Circle
<b>TUB-382</b>	Pozo-382	Pozo-383	61.20	0.22	8.00	0.21	0.01	1.12	PVC	Circle
<b>TUB-383</b>	Pozo-383	Pozo-357	64.10	0.25	8.00	0.42	0.01	1.41	PVC	Circle
<b>TUB-384</b>	Pozo-384	Pozo-385	63.20	0.12	8.00	0.21	0.01	0.89	PVC	Circle
<b>TUB-385</b>	Pozo-385	Pozo-386	57.70	0.05	8.00	0.42	0.01	0.83	PVC	Circle
<b>TUB-386</b>	Pozo-386	Pozo-387	77.40	0.02	8.00	0.62	0.01	0.66	PVC	Circle
<b>TUB-387</b>	Pozo-387	Pozo-388	27.30	0.04	8.00	1.25	0.01	1.04	PVC	Circle
<b>TUB-388</b>	Pozo-388	Pozo-389	33.90	0.01	8.00	1.87	0.01	0.79	PVC	Circle
<b>TUB-389</b>	Pozo-389	Pozo-390	78.80	0.04	8.00	2.49	0.01	1.29	PVC	Circle
<b>TUB-390</b>	Pozo-390	Pozo-391	52.10	0.04	8.00	2.91	0.01	1.32	PVC	Circle
<b>TUB-391</b>	Pozo-391	Pozo-377	47.30	0.09	8.00	3.12	0.01	1.84	PVC	Circle
<b>TUB-392</b>	Pozo-392	Pozo-393	49.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-393</b>	Pozo-393	Pozo-387	46.50	0.04	8.00	0.42	0.01	0.78	PVC	Circle
<b>TUB-394</b>	Pozo-394	Pozo-395	51.60	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-395</b>	Pozo-395	Pozo-388	45.20	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-396</b>	Pozo-396	Pozo-397	49.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-397</b>	Pozo-397	Pozo-389	50.80	0.02	8.00	0.42	0.01	0.61	PVC	Circle
<b>TUB-398</b>	Pozo-398	Pozo-390	80.10	0.04	8.00	0.21	0.01	0.62	PVC	Circle
<b>TUB-399</b>	Pozo-399	Pozo-400	50.70	0.08	8.00	0.21	0.01	0.76	PVC	Circle
<b>TUB-400</b>	Pozo-400	Pozo-401	47.10	0.06	8.00	0.42	0.01	0.89	PVC	Circle
<b>TUB-401</b>	Pozo-401	Pozo-402	60.30	0.04	8.00	0.62	0.01	0.85	PVC	Circle
<b>TUB-402</b>	Pozo-402	Pozo-403	71.50	0.21	8.00	0.83	0.01	1.66	PVC	Circle
<b>TUB-403</b>	Pozo-403	Pozo-358	66.20	0.27	8.00	1.04	0.01	1.88	PVC	Circle

## 10.1.2 Pozos

Tabla 10-4, tabla de resultado para los pozos

LABEL	ELEVATION (RIM) (M)	ELEVATION (INVERT) (M)	DEPTH (STRUCTURE) (M)	HYDRAULIC GRADE LINE (IN) (M)	HYDRAULIC GRADE LINE (OUT) (M)	FLOW (TOTAL OUT) (L/S)
POZO-1	608.24	603.22	5.03	603.24	603.24	0.83
POZO-2	605.56	600.02	5.54	600.05	600.05	1.66
POZO-3	601.34	598.23	3.11	598.28	598.28	2.91
POZO-4	595.76	594.96	0.80	595.01	595.01	4.15
POZO-5	593.12	592.32	0.80	592.37	592.37	4.36
POZO-6	592.59	591.77	0.82	591.83	591.83	5.40
POZO-7	590.16	589.35	0.80	589.42	589.42	5.61
POZO-8	588.41	586.70	1.72	586.77	586.77	7.27
POZO-9	587.41	586.50	0.91	586.57	586.57	7.48
POZO-10	586.94	584.65	2.29	584.73	584.73	8.73
POZO-11	585.00	582.31	2.68	582.40	582.40	9.35
POZO-12	581.18	579.84	1.34	579.93	579.93	10.18
POZO-13	579.79	578.98	0.80	579.07	579.07	10.39
POZO-14	576.30	575.49	0.80	575.58	575.58	10.60
POZO-15	575.02	574.22	0.80	574.30	574.30	10.80
POZO-16	573.40	572.60	0.80	572.69	572.69	11.01
POZO-17	572.38	571.57	0.80	571.66	571.66	11.22
POZO-18	573.43	571.34	2.10	571.43	571.43	11.43
POZO-19	574.00	571.09	2.91	571.18	571.18	11.64
POZO-20	574.00	571.03	2.97	571.12	571.12	11.84
POZO-21	573.51	570.86	2.65	570.95	570.95	12.05
POZO-22	565.37	564.56	0.80	564.66	564.66	12.26
POZO-23	562.80	559.34	3.47	559.47	559.47	25.14
POZO-24	563.71	559.15	4.56	559.29	559.29	25.35
POZO-25	560.82	558.93	1.89	559.07	559.07	26.18
POZO-26	556.68	555.87	0.80	556.01	556.01	26.39
POZO-27	550.88	550.08	0.80	550.22	550.22	26.60
POZO-28	548.52	547.71	0.80	547.90	547.90	50.29
POZO-29	543.12	542.32	0.80	542.51	542.51	50.49
POZO-30	539.89	539.03	0.85	539.21	539.21	50.70
POZO-31	539.46	538.61	0.85	538.79	538.79	50.91
POZO-32	537.86	537.01	0.85	537.19	537.19	51.12
POZO-33	532.42	531.57	0.85	531.75	531.75	51.33
POZO-34	528.97	528.11	0.85	528.30	528.30	51.53
POZO-36	612.05	611.25	0.80	611.26	611.26	0.21
POZO-37	610.00	609.20	0.80	609.21	609.21	0.21



<b>POZO-38</b>	609.44	605.19	4.25	605.21	605.21	0.41
<b>POZO-39</b>	606.17	605.37	0.80	605.38	605.38	0.21
<b>POZO-40</b>	608.71	601.56	7.15	601.58	601.58	0.62
<b>POZO-41</b>	611.98	611.18	0.80	611.19	611.19	0.21
<b>POZO-42</b>	608.42	607.62	0.80	607.63	607.63	0.21
<b>POZO-43</b>	603.88	600.69	3.19	600.71	600.71	0.62
<b>POZO-44</b>	603.02	599.19	3.83	599.22	599.22	1.04
<b>POZO-45</b>	604.70	603.90	0.80	603.91	603.91	0.21
<b>POZO-46</b>	608.08	607.28	0.80	607.29	607.29	0.21
<b>POZO-47</b>	603.64	602.84	0.80	602.85	602.85	0.21
<b>POZO-48</b>	598.71	597.90	0.80	597.92	597.92	0.62
<b>POZO-49</b>	596.99	596.19	0.80	596.22	596.22	1.04
<b>POZO-50</b>	603.24	602.44	0.80	602.45	602.45	0.21
<b>POZO-51</b>	602.46	601.66	0.80	601.67	601.67	0.21
<b>POZO-52</b>	595.40	594.60	0.80	594.61	594.61	0.21
<b>POZO-53</b>	594.69	593.32	1.38	593.34	593.34	0.62
<b>POZO-54</b>	598.28	597.47	0.80	597.49	597.49	0.21
<b>POZO-55</b>	596.47	595.67	0.80	595.68	595.68	0.21
<b>POZO-56</b>	591.43	590.63	0.80	590.64	590.64	0.21
<b>POZO-57</b>	589.82	587.75	2.07	587.77	587.77	0.83
<b>POZO-58</b>	588.80	586.98	1.82	587.01	587.01	1.45
<b>POZO-59</b>	594.22	593.42	0.80	593.43	593.43	0.21
<b>POZO-60</b>	592.04	591.24	0.80	591.25	591.25	0.41
<b>POZO-61</b>	593.03	592.23	0.80	592.24	592.24	0.21
<b>POZO-62</b>	590.47	589.67	0.80	589.69	589.69	0.41
<b>POZO-63</b>	590.02	589.22	0.80	589.23	589.23	0.21
<b>POZO-64</b>	588.47	586.14	2.33	586.16	586.16	0.62
<b>POZO-65</b>	587.54	585.16	2.38	585.18	585.18	1.04
<b>POZO-66</b>	589.62	588.82	0.80	588.83	588.83	0.21
<b>POZO-67</b>	588.65	587.85	0.80	587.86	587.86	0.21
<b>POZO-68</b>	587.78	586.97	0.80	586.98	586.98	0.21
<b>POZO-69</b>	586.79	584.12	2.67	584.14	584.14	0.41
<b>POZO-70</b>	584.67	583.86	0.80	583.88	583.88	0.21
<b>POZO-71</b>	583.59	581.88	1.70	581.90	581.90	0.41
<b>POZO-72</b>	582.30	580.68	1.62	580.70	580.70	0.62
<b>POZO-73</b>	596.68	595.88	0.80	595.89	595.89	0.41
<b>POZO-74</b>	595.69	594.88	0.80	594.91	594.91	0.83
<b>POZO-75</b>	594.02	592.69	1.34	592.72	592.72	1.25
<b>POZO-76</b>	592.20	588.72	3.48	588.75	588.75	1.66
<b>POZO-77</b>	590.36	586.55	3.81	586.59	586.59	2.08
<b>POZO-78</b>	587.69	583.82	3.87	583.86	583.86	2.49
<b>POZO-79</b>	583.17	579.46	3.71	579.51	579.51	2.91

<b>POZO-80</b>	579.93	577.02	2.91	577.07	577.07	3.53
<b>POZO-81</b>	576.67	573.92	2.75	573.97	573.97	4.15
<b>POZO-82</b>	574.95	573.08	1.87	573.15	573.15	6.44
<b>POZO-83</b>	573.47	571.04	2.43	571.11	571.11	7.06
<b>POZO-84</b>	571.46	568.56	2.90	568.63	568.63	7.69
<b>POZO-85</b>	569.07	567.72	1.35	567.80	567.80	8.31
<b>POZO-86</b>	567.93	567.13	0.80	567.21	567.21	8.93
<b>POZO-87</b>	566.97	565.98	0.99	566.06	566.06	9.56
<b>POZO-88</b>	565.34	563.61	1.73	563.70	563.70	10.60
<b>POZO-89</b>	564.11	561.23	2.88	561.32	561.32	11.43
<b>POZO-90</b>	562.75	559.73	3.02	559.82	559.82	12.47
<b>POZO-91</b>	562.00	559.47	2.53	559.56	559.56	12.67
<b>POZO-92</b>	602.21	601.40	0.80	601.41	601.41	0.21
<b>POZO-93</b>	600.31	599.50	0.80	599.52	599.52	0.21
<b>POZO-94</b>	596.66	595.86	0.80	595.87	595.87	0.21
<b>POZO-95</b>	592.73	591.92	0.80	591.93	591.93	0.21
<b>POZO-96</b>	590.65	589.85	0.80	589.86	589.86	0.21
<b>POZO-97</b>	588.16	587.36	0.80	587.37	587.37	0.21
<b>POZO-98</b>	583.98	583.18	0.80	583.19	583.19	0.21
<b>POZO-99</b>	580.93	580.12	0.80	580.14	580.14	0.21
<b>POZO-100</b>	580.43	578.25	2.18	578.26	578.26	0.41
<b>POZO-101</b>	577.80	577.00	0.80	577.01	577.01	0.21
<b>POZO-102</b>	577.26	575.13	2.13	575.14	575.14	0.41
<b>POZO-103</b>	574.84	574.04	0.80	574.05	574.05	0.21
<b>POZO-104</b>	574.24	572.26	1.98	572.28	572.28	0.41
<b>POZO-105</b>	571.72	570.91	0.80	570.93	570.93	0.21
<b>POZO-106</b>	570.35	568.90	1.45	568.92	568.92	0.41
<b>POZO-107</b>	570.25	569.45	0.80	569.46	569.46	0.21
<b>POZO-108</b>	568.60	567.28	1.31	567.30	567.30	0.41
<b>POZO-109</b>	568.46	567.65	0.80	567.67	567.67	0.21
<b>POZO-110</b>	566.60	565.04	1.56	565.06	565.06	0.41
<b>POZO-111</b>	565.55	564.75	0.80	564.76	564.76	0.21
<b>POZO-112</b>	563.77	562.96	0.80	562.97	562.97	0.21
<b>POZO-113</b>	563.46	560.90	2.56	560.92	560.92	0.41
<b>POZO-114</b>	576.15	575.35	0.80	575.36	575.36	0.21
<b>POZO-115</b>	575.73	574.32	1.41	574.35	574.35	0.83
<b>POZO-116</b>	575.58	573.74	1.83	573.78	573.78	1.45
<b>POZO-117</b>	575.49	573.39	2.10	573.42	573.42	2.08
<b>POZO-118</b>	574.67	573.86	0.80	573.88	573.88	0.21
<b>POZO-119</b>	572.99	570.44	2.54	570.46	570.46	0.41
<b>POZO-120</b>	582.82	582.02	0.80	582.03	582.03	0.21
<b>POZO-121</b>	579.87	579.07	0.80	579.09	579.09	0.41

<b>POZO-122</b>	581.73	580.93	0.80	580.94	580.94	0.21
<b>POZO-123</b>	579.60	578.80	0.80	578.81	578.81	0.41
<b>POZO-124</b>	579.74	578.94	0.80	578.95	578.95	0.21
<b>POZO-125</b>	579.22	577.02	2.20	577.03	577.03	0.41
<b>POZO-126</b>	573.17	572.37	0.80	572.38	572.38	0.21
<b>POZO-127</b>	571.51	569.57	1.94	569.59	569.59	0.41
<b>POZO-128</b>	572.06	571.26	0.80	571.27	571.27	0.21
<b>POZO-129</b>	568.50	567.70	0.80	567.71	567.71	0.41
<b>POZO-130</b>	573.01	572.21	0.80	572.22	572.22	0.21
<b>POZO-131</b>	568.83	568.03	0.80	568.04	568.04	0.41
<b>POZO-132</b>	573.96	573.15	0.80	573.16	573.16	0.21
<b>POZO-133</b>	567.51	566.71	0.80	566.73	566.73	0.41
<b>POZO-134</b>	568.55	567.75	0.80	567.76	567.76	0.21
<b>POZO-135</b>	567.13	564.85	2.27	564.87	564.87	0.41
<b>POZO-136</b>	564.65	563.32	1.33	563.34	563.34	0.62
<b>POZO-137</b>	608.66	607.86	0.80	607.87	607.87	0.21
<b>POZO-138</b>	606.41	605.61	0.80	605.63	605.63	0.62
<b>POZO-139</b>	603.24	602.43	0.80	602.46	602.46	1.04
<b>POZO-140</b>	600.65	599.84	0.80	599.88	599.88	1.45
<b>POZO-141</b>	596.92	596.12	0.80	596.15	596.15	1.87
<b>POZO-142</b>	592.82	592.02	0.80	592.06	592.06	2.28
<b>POZO-143</b>	590.68	589.12	1.56	589.16	589.16	2.70
<b>POZO-144</b>	588.15	587.35	0.80	587.39	587.39	2.91
<b>POZO-145</b>	585.47	584.06	1.41	584.11	584.11	3.32
<b>POZO-146</b>	584.21	582.44	1.77	582.49	582.49	3.74
<b>POZO-147</b>	580.98	579.48	1.51	579.53	579.53	4.15
<b>POZO-148</b>	577.86	577.05	0.80	577.11	577.11	4.57
<b>POZO-149</b>	574.84	574.04	0.80	574.10	574.10	4.99
<b>POZO-150</b>	571.94	571.14	0.80	571.20	571.20	5.40
<b>POZO-151</b>	570.37	569.56	0.80	569.63	569.63	5.82
<b>POZO-152</b>	568.62	567.81	0.80	567.88	567.88	6.23
<b>POZO-153</b>	567.31	566.50	0.80	566.57	566.57	6.65
<b>POZO-154</b>	565.52	564.72	0.80	564.78	564.78	6.86
<b>POZO-155</b>	563.72	562.92	0.80	562.99	562.99	7.27
<b>POZO-156</b>	561.43	557.92	3.51	557.99	557.99	8.10
<b>POZO-157</b>	558.68	557.61	1.07	557.69	557.69	9.14
<b>POZO-158</b>	554.69	553.89	0.80	553.97	553.97	9.97
<b>POZO-159</b>	552.29	551.49	0.80	551.57	551.57	10.18
<b>POZO-160</b>	608.11	607.31	0.80	607.32	607.32	0.21
<b>POZO-161</b>	607.80	607.00	0.80	607.01	607.01	0.21
<b>POZO-162</b>	604.78	603.98	0.80	603.99	603.99	0.21
<b>POZO-163</b>	601.27	600.47	0.80	600.48	600.48	0.21

<b>POZO-164</b>	597.34	596.53	0.80	596.55	596.55	0.21
<b>POZO-165</b>	593.07	592.27	0.80	592.28	592.28	0.21
<b>POZO-166</b>	588.17	587.37	0.80	587.38	587.38	0.21
<b>POZO-167</b>	586.46	585.66	0.80	585.67	585.67	0.21
<b>POZO-168</b>	583.54	582.74	0.80	582.75	582.75	0.21
<b>POZO-169</b>	581.50	580.69	0.80	580.71	580.71	0.21
<b>POZO-170</b>	579.09	578.28	0.80	578.30	578.30	0.21
<b>POZO-171</b>	577.29	576.48	0.80	576.49	576.49	0.21
<b>POZO-172</b>	577.04	576.23	0.80	576.25	576.25	0.21
<b>POZO-173</b>	576.51	575.70	0.80	575.71	575.71	0.21
<b>POZO-174</b>	572.81	572.01	0.80	572.02	572.02	0.21
<b>POZO-175</b>	569.87	569.07	0.80	569.08	569.08	0.21
<b>POZO-176</b>	566.06	565.26	0.80	565.27	565.27	0.21
<b>POZO-177</b>	562.97	562.16	0.80	562.18	562.18	0.21
<b>POZO-178</b>	560.48	559.68	0.80	559.69	559.69	0.41
<b>POZO-179</b>	562.00	561.20	0.80	561.21	561.21	0.21
<b>POZO-180</b>	561.07	559.12	1.95	559.14	559.14	0.41
<b>POZO-181</b>	563.33	562.52	0.80	562.53	562.53	0.21
<b>POZO-182</b>	562.38	561.58	0.80	561.59	561.59	0.41
<b>POZO-183</b>	558.72	557.92	0.80	557.93	557.93	0.21
<b>POZO-184</b>	557.37	555.41	1.96	555.43	555.43	0.41
<b>POZO-185</b>	559.12	558.32	0.80	558.33	558.33	0.21
<b>POZO-186</b>	608.45	607.65	0.80	607.66	607.66	0.21
<b>POZO-187</b>	607.02	606.22	0.80	606.23	606.23	0.41
<b>POZO-188</b>	604.24	603.44	0.80	603.46	603.46	0.62
<b>POZO-189</b>	601.76	599.91	1.85	599.94	599.94	1.45
<b>POZO-190</b>	597.77	596.97	0.80	597.01	597.01	2.28
<b>POZO-191</b>	593.61	592.81	0.80	592.85	592.85	3.12
<b>POZO-192</b>	588.56	587.76	0.80	587.81	587.81	3.53
<b>POZO-193</b>	586.94	586.13	0.80	586.19	586.19	3.95
<b>POZO-194</b>	583.82	583.02	0.80	583.07	583.07	4.36
<b>POZO-195</b>	581.90	581.10	0.80	581.16	581.16	4.78
<b>POZO-196</b>	579.73	578.93	0.80	578.99	578.99	5.19
<b>POZO-197</b>	577.82	577.02	0.80	577.08	577.08	5.61
<b>POZO-198</b>	577.55	576.74	0.80	576.81	576.81	6.03
<b>POZO-199</b>	576.90	576.10	0.80	576.17	576.17	6.44
<b>POZO-200</b>	576.11	575.30	0.80	575.37	575.37	6.86
<b>POZO-201</b>	573.58	572.77	0.80	572.84	572.84	7.06
<b>POZO-202</b>	571.05	570.25	0.80	570.32	570.32	7.69
<b>POZO-203</b>	567.27	566.47	0.80	566.54	566.54	8.31
<b>POZO-204</b>	564.23	563.43	0.80	563.52	563.52	12.47
<b>POZO-205</b>	563.36	562.55	0.80	562.65	562.65	12.67

<b>POZO-206</b>	559.83	559.03	0.80	559.12	559.12	12.88
<b>POZO-207</b>	557.43	556.62	0.80	556.72	556.72	13.09
<b>POZO-208</b>	554.88	554.07	0.80	554.17	554.17	13.30
<b>POZO-209</b>	604.00	603.20	0.80	603.21	603.21	0.21
<b>POZO-210</b>	603.92	600.84	3.08	600.86	600.86	0.62
<b>POZO-211</b>	602.37	601.57	0.80	601.58	601.58	0.21
<b>POZO-212</b>	601.46	600.03	1.43	600.05	600.05	0.62
<b>POZO-213</b>	599.70	598.90	0.80	598.91	598.91	0.21
<b>POZO-214</b>	597.72	596.91	0.80	596.93	596.93	0.62
<b>POZO-215</b>	595.77	594.97	0.80	594.98	594.98	0.21
<b>POZO-216</b>	592.61	591.80	0.80	591.82	591.82	0.21
<b>POZO-217</b>	588.78	587.98	0.80	587.99	587.99	0.21
<b>POZO-218</b>	586.46	585.65	0.80	585.66	585.66	0.21
<b>POZO-219</b>	584.83	584.03	0.80	584.04	584.04	0.21
<b>POZO-220</b>	583.97	583.16	0.80	583.18	583.18	0.21
<b>POZO-221</b>	583.11	582.31	0.80	582.32	582.32	0.21
<b>POZO-222</b>	581.67	580.87	0.80	580.88	580.88	0.21
<b>POZO-223</b>	580.02	579.22	0.80	579.23	579.23	0.21
<b>POZO-224</b>	577.22	576.42	0.80	576.43	576.43	0.21
<b>POZO-225</b>	577.28	573.50	3.78	573.52	573.52	0.41
<b>POZO-226</b>	572.57	571.77	0.80	571.78	571.78	0.21
<b>POZO-227</b>	572.08	569.49	2.58	569.51	569.51	0.41
<b>POZO-228</b>	603.31	602.51	0.80	602.52	602.52	0.21
<b>POZO-229</b>	603.59	602.79	0.80	602.80	602.80	0.21
<b>POZO-230</b>	601.22	600.42	0.80	600.43	600.43	0.21
<b>POZO-231</b>	604.00	603.20	0.80	603.21	603.21	0.21
<b>POZO-232</b>	602.51	601.24	1.27	601.25	601.25	0.41
<b>POZO-233</b>	600.19	599.39	0.80	599.41	599.41	0.62
<b>POZO-234</b>	599.38	598.57	0.80	598.60	598.60	0.83
<b>POZO-235</b>	596.53	595.72	0.80	595.75	595.75	1.04
<b>POZO-236</b>	593.22	592.42	0.80	592.44	592.44	1.25
<b>POZO-237</b>	589.33	588.53	0.80	588.56	588.56	1.45
<b>POZO-238</b>	586.64	585.84	0.80	585.87	585.87	1.66
<b>POZO-239</b>	585.07	584.27	0.80	584.30	584.30	1.87
<b>POZO-240</b>	584.04	583.24	0.80	583.27	583.27	2.08
<b>POZO-241</b>	583.18	582.37	0.80	582.41	582.41	2.28
<b>POZO-242</b>	581.73	580.93	0.80	580.97	580.97	2.49
<b>POZO-243</b>	580.09	579.29	0.80	579.33	579.33	2.70
<b>POZO-244</b>	580.09	579.18	0.92	579.22	579.22	2.91
<b>POZO-245</b>	577.24	576.44	0.80	576.48	576.48	3.12
<b>POZO-246</b>	572.35	571.55	0.80	571.60	571.60	3.32
<b>POZO-247</b>	569.44	568.63	0.80	568.68	568.68	3.53

<b>POZO-248</b>	567.31	566.51	0.80	566.56	566.56	3.95
<b>POZO-249</b>	571.29	570.49	0.80	570.50	570.50	0.21
<b>POZO-250</b>	560.98	560.17	0.80	560.19	560.19	0.21
<b>POZO-251</b>	559.35	557.54	1.81	557.56	557.56	0.41
<b>POZO-252</b>	554.27	553.46	0.80	553.48	553.48	0.62
<b>POZO-253</b>	548.07	547.27	0.80	547.30	547.30	1.45
<b>POZO-254</b>	547.05	546.25	0.80	546.28	546.28	1.66
<b>POZO-255</b>	549.18	545.91	3.26	545.97	545.97	5.61
<b>POZO-256</b>	538.04	537.24	0.80	537.30	537.30	5.82
<b>POZO-257</b>	532.56	531.76	0.80	531.82	531.82	6.03
<b>POZO-258</b>	528.55	527.75	0.80	527.81	527.81	6.23
<b>POZO-259</b>	526.73	525.93	0.80	526.01	526.01	9.97
<b>POZO-260</b>	526.78	525.85	0.93	525.94	525.94	10.80
<b>POZO-261</b>	527.08	525.46	1.62	525.56	525.56	11.64
<b>POZO-262</b>	527.08	525.18	1.90	525.27	525.27	11.84
<b>POZO-263</b>	527.34	524.85	2.49	524.95	524.95	12.47
<b>POZO-264</b>	527.19	524.61	2.59	524.70	524.70	13.09
<b>POZO-265</b>	524.78	523.97	0.80	524.07	524.07	13.92
<b>POZO-266</b>	522.69	521.89	0.80	521.99	521.99	14.13
<b>POZO-267</b>	521.21	520.41	0.80	520.51	520.51	14.34
<b>POZO-268</b>	521.09	520.13	0.96	520.24	520.24	16.42
<b>POZO-269</b>	517.27	516.47	0.80	516.58	516.58	16.83
<b>POZO-270</b>	511.00	510.20	0.80	510.31	510.31	17.25
<b>POZO-271</b>	508.37	507.57	0.80	507.68	507.68	17.66
<b>POZO-272</b>	508.81	507.31	1.50	507.42	507.42	18.08
<b>POZO-273</b>	509.00	507.02	1.98	507.14	507.14	18.29
<b>POZO-274</b>	509.47	506.69	2.78	506.85	506.85	31.38
<b>POZO-275</b>	509.10	506.48	2.63	506.63	506.63	31.58
<b>POZO-277</b>	568.74	567.94	0.80	567.95	567.95	0.21
<b>POZO-278</b>	563.66	562.86	0.80	562.88	562.88	0.41
<b>POZO-279</b>	559.21	558.40	0.80	558.43	558.43	0.62
<b>POZO-280</b>	601.02	600.22	0.80	600.23	600.23	0.21
<b>POZO-281</b>	598.10	597.29	0.80	597.31	597.31	0.41
<b>POZO-282</b>	584.20	583.40	0.80	583.42	583.42	0.62
<b>POZO-283</b>	578.77	577.96	0.80	577.99	577.99	0.83
<b>POZO-284</b>	576.87	576.06	0.80	576.10	576.10	2.08
<b>POZO-285</b>	573.60	571.11	2.49	571.15	571.15	2.49
<b>POZO-286</b>	570.70	569.90	0.80	569.94	569.94	2.70
<b>POZO-287</b>	567.09	566.29	0.80	566.33	566.33	2.91
<b>POZO-288</b>	566.63	565.83	0.80	565.87	565.87	3.12
<b>POZO-289</b>	559.69	558.89	0.80	558.93	558.93	3.32
<b>POZO-290</b>	559.85	558.78	1.08	558.83	558.83	3.74

<b>POZO-291</b>	562.36	561.55	0.80	561.56	561.56	0.21
<b>POZO-292</b>	574.44	573.63	0.80	573.65	573.65	0.21
<b>POZO-293</b>	580.87	580.07	0.80	580.08	580.08	0.21
<b>POZO-294</b>	579.02	578.22	0.80	578.24	578.24	0.83
<b>POZO-295</b>	578.73	577.93	0.80	577.95	577.95	1.04
<b>POZO-296</b>	603.01	602.21	0.80	602.22	602.22	0.21
<b>POZO-297</b>	592.55	591.75	0.80	591.77	591.77	0.41
<b>POZO-299</b>	604.00	603.20	0.80	603.21	603.21	0.21
<b>POZO-300</b>	592.45	591.65	0.80	591.66	591.66	0.41
<b>POZO-301</b>	580.68	579.87	0.80	579.89	579.89	0.62
<b>POZO-302</b>	573.89	573.09	0.80	573.11	573.11	0.83
<b>POZO-303</b>	571.00	570.20	0.80	570.23	570.23	1.66
<b>POZO-304</b>	559.90	559.09	0.80	559.13	559.13	1.87
<b>POZO-305</b>	549.88	549.08	0.80	549.13	549.13	3.53
<b>POZO-306</b>	602.94	602.13	0.80	602.14	602.14	0.21
<b>POZO-307</b>	591.06	590.26	0.80	590.27	590.27	0.41
<b>POZO-308</b>	581.48	580.68	0.80	580.70	580.70	0.62
<b>POZO-309</b>	599.17	598.37	0.80	598.38	598.38	0.21
<b>POZO-310</b>	594.50	593.69	0.80	593.71	593.71	0.41
<b>POZO-311</b>	588.28	587.48	0.80	587.50	587.50	0.62
<b>POZO-312</b>	578.94	578.14	0.80	578.16	578.16	1.04
<b>POZO-313</b>	569.63	568.82	0.80	568.86	568.86	1.45
<b>POZO-314</b>	571.46	570.66	0.80	570.67	570.67	0.21
<b>POZO-315</b>	581.37	580.57	0.80	580.58	580.58	0.21
<b>POZO-316</b>	571.82	571.01	0.80	571.03	571.03	0.21
<b>POZO-317</b>	561.39	560.59	0.80	560.60	560.60	0.41
<b>POZO-318</b>	541.46	540.66	0.80	540.68	540.68	0.62
<b>POZO-319</b>	569.09	568.28	0.80	568.30	568.30	0.21
<b>POZO-320</b>	559.12	558.32	0.80	558.34	558.34	0.41
<b>POZO-321</b>	547.12	546.31	0.80	546.33	546.33	0.62
<b>POZO-322</b>	561.37	560.57	0.80	560.58	560.58	0.21
<b>POZO-323</b>	548.39	547.58	0.80	547.60	547.60	0.41
<b>POZO-324</b>	561.78	560.97	0.80	560.99	560.99	0.21
<b>POZO-325</b>	546.83	546.03	0.80	546.04	546.04	0.41
<b>POZO-326</b>	560.21	559.41	0.80	559.42	559.42	0.21
<b>POZO-327</b>	548.78	547.98	0.80	548.00	548.00	0.41
<b>POZO-328</b>	537.40	536.60	0.80	536.62	536.62	0.62
<b>POZO-329</b>	544.16	543.36	0.80	543.37	543.37	0.21
<b>POZO-330</b>	531.01	530.21	0.80	530.24	530.24	1.87
<b>POZO-331</b>	536.88	536.08	0.80	536.09	536.09	0.21
<b>POZO-332</b>	534.53	533.73	0.80	533.75	533.75	0.83
<b>POZO-333</b>	532.92	532.11	0.80	532.14	532.14	1.45

<b>POZO-334</b>	558.37	557.57	0.80	557.58	557.58	0.21
<b>POZO-335</b>	548.91	548.11	0.80	548.12	548.12	0.41
<b>POZO-336</b>	555.09	554.28	0.80	554.29	554.29	0.21
<b>POZO-337</b>	546.48	545.68	0.80	545.69	545.69	0.41
<b>POZO-338</b>	538.65	537.84	0.80	537.86	537.86	0.21
<b>POZO-339</b>	531.35	530.55	0.80	530.56	530.56	0.21
<b>POZO-340</b>	524.57	523.77	0.80	523.78	523.78	0.21
<b>POZO-341</b>	520.99	520.19	0.80	520.20	520.20	0.21
<b>POZO-342</b>	578.35	577.55	0.80	577.56	577.56	0.21
<b>POZO-343</b>	576.11	575.31	0.80	575.33	575.33	0.41
<b>POZO-344</b>	572.82	572.01	0.80	572.03	572.03	0.62
<b>POZO-345</b>	571.36	570.56	0.80	570.59	570.59	1.25
<b>POZO-346</b>	570.38	569.58	0.80	569.61	569.61	1.45
<b>POZO-347</b>	568.62	567.81	0.80	567.85	567.85	2.28
<b>POZO-348</b>	563.17	562.37	0.80	562.41	562.41	2.91
<b>POZO-349</b>	563.58	562.11	1.46	562.16	562.16	3.53
<b>POZO-350</b>	562.73	561.87	0.87	561.92	561.92	4.15
<b>POZO-351</b>	560.61	559.81	0.80	559.87	559.87	4.78
<b>POZO-352</b>	557.21	556.40	0.80	556.46	556.46	5.40
<b>POZO-353</b>	555.06	554.26	0.80	554.34	554.34	9.14
<b>POZO-354</b>	546.29	545.49	0.80	545.57	545.57	9.35
<b>POZO-355</b>	541.11	540.31	0.80	540.39	540.39	9.97
<b>POZO-356</b>	534.28	533.48	0.80	533.57	533.57	10.60
<b>POZO-357</b>	527.29	526.49	0.80	526.58	526.58	11.22
<b>POZO-358</b>	523.64	522.83	0.80	522.93	522.93	12.47
<b>POZO-359</b>	519.34	518.54	0.80	518.64	518.64	12.67
<b>POZO-360</b>	517.33	516.52	0.80	516.62	516.62	12.88
<b>POZO-361</b>	581.94	581.13	0.80	581.14	581.14	0.21
<b>POZO-362</b>	580.86	577.36	3.50	577.38	577.38	0.41
<b>POZO-363</b>	580.97	580.16	0.80	580.18	580.18	0.21
<b>POZO-364</b>	581.66	578.31	3.34	578.34	578.34	0.62
<b>POZO-365</b>	582.19	581.39	0.80	581.40	581.40	0.21
<b>POZO-366</b>	581.40	580.60	0.80	580.61	580.61	0.21
<b>POZO-367</b>	575.24	574.44	0.80	574.46	574.46	0.41
<b>POZO-368</b>	581.18	580.37	0.80	580.39	580.39	0.21
<b>POZO-369</b>	573.04	572.24	0.80	572.26	572.26	0.41
<b>POZO-370</b>	581.78	580.97	0.80	580.99	580.99	0.21
<b>POZO-371</b>	572.63	571.83	0.80	571.84	571.84	0.41
<b>POZO-372</b>	576.91	576.11	0.80	576.12	576.12	0.21
<b>POZO-373</b>	567.45	566.65	0.80	566.67	566.67	0.41
<b>POZO-374</b>	573.29	572.49	0.80	572.50	572.50	0.21
<b>POZO-375</b>	564.89	564.09	0.80	564.11	564.11	0.41



<b>POZO-376</b>	572.93	572.13	0.80	572.14	572.14	0.21
<b>POZO-377</b>	571.35	570.00	1.35	570.05	570.05	3.53
<b>POZO-378</b>	563.96	563.16	0.80	563.17	563.17	0.21
<b>POZO-379</b>	553.21	552.40	0.80	552.42	552.42	0.41
<b>POZO-380</b>	560.08	559.28	0.80	559.29	559.29	0.21
<b>POZO-381</b>	547.60	546.79	0.80	546.81	546.81	0.41
<b>POZO-382</b>	556.84	556.04	0.80	556.05	556.05	0.21
<b>POZO-383</b>	543.40	542.60	0.80	542.62	542.62	0.41
<b>POZO-384</b>	593.61	592.80	0.80	592.82	592.82	0.21
<b>POZO-385</b>	586.21	585.41	0.80	585.42	585.42	0.41
<b>POZO-386</b>	583.16	582.36	0.80	582.38	582.38	0.62
<b>POZO-387</b>	581.63	580.82	0.80	580.85	580.85	1.25
<b>POZO-388</b>	581.28	579.77	1.50	579.81	579.81	1.87
<b>POZO-389</b>	581.56	579.35	2.21	579.39	579.39	2.49
<b>POZO-390</b>	578.97	576.21	2.76	576.25	576.25	2.91
<b>POZO-391</b>	575.10	574.30	0.80	574.35	574.35	3.12
<b>POZO-392</b>	585.70	584.90	0.80	584.91	584.91	0.21
<b>POZO-393</b>	583.67	582.87	0.80	582.88	582.88	0.41
<b>POZO-394</b>	583.65	582.85	0.80	582.86	582.86	0.21
<b>POZO-395</b>	581.95	580.77	1.18	580.79	580.79	0.41
<b>POZO-396</b>	583.25	582.44	0.80	582.45	582.45	0.21
<b>POZO-397</b>	582.56	580.46	2.09	580.48	580.48	0.41
<b>POZO-398</b>	580.24	579.44	0.80	579.45	579.45	0.21
<b>POZO-399</b>	565.56	564.76	0.80	564.77	564.77	0.21
<b>POZO-400</b>	561.68	560.88	0.80	560.90	560.90	0.41
<b>POZO-401</b>	558.71	557.91	0.80	557.93	557.93	0.62
<b>POZO-402</b>	556.31	555.50	0.80	555.53	555.53	0.83
<b>POZO-403</b>	541.33	540.52	0.80	540.55	540.55	1.04