

**TESIS
MAESTRIA INGENIERÍA CIVIL**

**COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE ALCANTARILLADO CONDOMINIAL Y
ALCANTARILLADO CONVENCIONAL OPTIMIZADO.**

**PRESENTADO POR:
MARÍA ALEJANDRA GONZÁLEZ MOLINA**

ASESOR:
JUAN GUILLERMO SALDARRIAGA VALDERRAMA
*Centro de Investigaciones en Acueductos y Alcantarillados - CIACUA, Departamento de
Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia*



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
ENERO 2022**



AGRADECIMIENTOS

Sé que he sido muy afortunada por tener a unos padres que me han apoyado incondicionalmente a lo largo de mi vida. Hoy agradezco porque ellos me dieron la motivación y apoyo para poder continuar con mis estudios académicos.

A lo largo de estos estudios tuve la oportunidad de tener a unos excelentes profesores que me ayudaron a crecer no solo en mi vida profesional, sino también en lo personal. En especial quiero agradecer al profesor Juan Saldarriaga, por siempre ayudarme y guiarme en el desarrollo de este proyecto, y a Laura Solarte y Camilo Salcedo que me brindaron los mejores consejos a lo largo de mis estudios.

Finalmente, le doy gracias a mis compañeros que me ayudaron y escucharon en los momentos que más lo necesitaba.



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
1.1 Introducción	9
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Sistemas de drenaje urbano	12
2.1.1 Importancia para el medio ambiente y ser humano	12
2.1.2 Tipos de alcantarillados	13
2.1.3 Situación actual en Colombia	14
2.2 Generalidades del diseño de los sistemas de alcantarillado convencionales	15
2.2.1 Componentes	15
2.2.2 Aspectos del diseño hidráulico	16
2.2.3 Ecuaciones de diseño	17
2.2.4 Restricciones de diseño	22
2.2.5 Ecuación de costos	23
2.3 Generalidades de los sistemas de alcantarillado no convencionales	27
2.3.1 Alcantarillado Condominial	28
2.3.2 Alcantarillado Sin Arrastre de Sólidos (ASAS)	29
2.3.3 Alcantarillado Simplificado	30
2.4 Generalidades del diseño optimizado de alcantarillados	31
3. ANTECEDENTES	33
3.1 Historia del alcantarillado condominial	33
3.2 Implementación del alcantarillado condominial	34
3.2.1 Caso de Brasil	34
3.2.2 Caso de Perú	38
3.2.3 Caso de Bolivia	39
3.3 Comparación del sistema condominial y convencional	40
3.3.1 Ventajas y Desventajas	40



3.3.2	Comparación económica	42
4.	CASO DE ESTUDIO	47
4.1	Contexto	47
4.1.1	Ubicación y descripción del proyecto	47
4.1.2	Normativa para el diseño	50
4.2	Alcantarillado en Ciudad Verde	51
5.	METODOLOGÍA	56
5.1	Solicitud de la información sistema convencional	56
5.1.1	Análisis de la información	57
5.2	Diseño convencional optimizado	58
5.2.1	Diseño con normativa colombiana	58
5.2.2	Diseño usando parámetros de la constructora	59
5.3	Diseño condominial	60
5.4	Evaluación Social	62
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	63
6.1	Diseño convencional optimizado	63
6.1.1	Diseño con normativa colombiana	64
6.1.2	Diseño usando parámetros de la constructora	68
6.1.3	Comparación de los diseños convencionales	73
6.2	Diseño Condominial	77
6.2.1	Diseños cumpliendo con los 25 m de distancia entre los pozos	82
6.2.2	Diseños que no cumplen con los 25 m de distancia entre los pozos	85
6.2.2	Comparación de los diseños condominiales	88
6.3	Comparación entre el diseño convencional optimizado y el condominial.	90
6.3.1	Trazado de la red	91
6.3.2	Restricciones de diseño	92
6.3.3	Flujos de caja con los costos iniciales y mantenimiento.	93
6.3.4	Evaluación social	97
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
8.	REFERENCIAS	102



9. ANEXOS	105
------------------------	------------



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de un sistema combinado. Tomado de Salcedo (2012) y (Butler & Davies, 2009).....	14
Figura 2 LET y LGH para tuberías fluyendo parcialmente llenas. Tomado y adaptado de (Saldarriaga, 2021)	17
Figura 3 Sección transversal tubería fluyendo parcialmente llena. Tomado y modificado de (Saldarriaga, 2021)	18
Figura 4 Parámetros del volumen de excavación para una tubería. Tomado de (Duque, 2015) y (CIACUA, 2013)	25
Figura 5 APU de redes menores de Alcantarillado Convencional Fuente:(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2021)	26
Figura 6 Tipos de redes de alcantarillado en Colombia	28
Figura 7 Comparación del trazado de la red de redes convencionales y condominiales. Tomado de (“Sistemas Condominiales de Alcantarillado Sanitario: Guía de Procedimientos,” 2001).....	29
Figura 8 Los dos tipos de tuberías en la red de alcantarillado. Tomado de (Duque, 2015)	32
Figura 9 Metodología desarrollada por Duque (2015) para el diseño de alcantarillado. Tomado de Aguilar (2016)	33
Figura 10 Ubicación de Soacha y Ciudad Verde en Colombia	48
Figura 11 División de las etapas en Ciudad Verde.....	49
Figura 12 Uso de la tierra. Tomado de (Amarilo, 2020)	50
Figura 13 Caudal Unitario. Tomado de NS-085 (2009).....	52
Figura 14 Alcantarillado Convencional en Ciudad Verde, diseñado por Amarilo.....	53
Figura 15 Frecuencia de diámetros del diseño de Amarilo	54
Figura 16 Esfuerzo cortante para cada tramo de tubería, diseño de Amarilo.....	55
Figura 17 Profundidad de excavación del diseño de Amarilo.....	56
Figura 18 Diseño alcantarillado convencional optimizado- Norma colombiana	65
Figura 19 Comparación de frecuencia de diámetros según el diseño optimizado realizado en UTOPIA y lo obtenido en Amarilo.	66
Figura 20 Comparación esfuerzo cortante del diseño optimizado y diseño de Amarilo.....	67
Figura 21 Comparación profundidad de excavación diseño optimizado y diseño de Amarilo	68
Figura 22 Diseño alcantarillado convencional optimizado- Parámetros usados en Amarilo... ..	70
Figura 23 Comparación de frecuencia de diámetros con parámetros de Amarilo.....	71
Figura 24 Comparación del esfuerzo cortante con parámetros de Amarilo	72
Figura 25 Comparación de la profundidad de excavación usando parámetros de Amarilo	73
Figura 26 Comparación frecuencia de diámetros diseños optimizados	75
Figura 27 Comparación del esfuerzo cortante para diseños optimizados	76
Figura 28 Comparación de la profundidad de excavación para diseños optimizados.....	77
Figura 29 Elevación de Ciudad Verde usando los puntos de Amarilo	78



Figura 30 Elevación de Ciudad Verde usando Google Earth.....	78
Figura 31 Red Principal y Redes Condominiales.....	79
Figura 32 Polígonos de Thiessen para el sistema condominial cumpliendo los 25 m	80
Figura 33 Polígonos de Thiessen para el sistema condominial que no cumple con los 25 m..	81
Figura 34 Sistema condominial con una distancia entre pozos de máximo 25 m	83
Figura 35 Distribución de diámetros del diseño condominial que cumple con los 25 m.....	85
Figura 36 Sistema condominial con una distancia entre pozos de máximo 80 m	86
Figura 37 Distribución de diámetros de diseños condominiales que no cumplen con 25 m....	88
Figura 38 Comparación del trazado entre el sistema convencional y el sistema condominial	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Propiedades geométricas de tubería fluyendo parcialmente llena. Tomado y adaptado de (Butler & Davis, 2009) y (Salcedo, 2012)	18
Tabla 2 Profundidad mínima a la cota clave	23
Tabla 3 Costos de mantenimiento del sistema condominial para la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: (Silva,2018)	27
Tabla 4 Comparación de parámetros de diseño de alcantarillados convencionales y no convencionales. Tomado y adaptado de (Criollo, 2021)	30
Tabla 5 Comparación costos proyecto Parauapebas. Tomado de: (Melo,2005)	38
Tabla 6 Comparación de costos en alcantarillado de Perú. Tomado de: (Lampoglia & Rolim, 2006).....	39
Tabla 7 Comparación de costos del sistema convencional y condominial. Tomado de (Mezzomo, 2019)	43
Tabla 8 Costos por actividad y por alcantarillado. Tomado de (Ramos, 2018)	44
Tabla 9 Costos de manutención. Tomado de (Ramos, 2018).....	45
Tabla 10 Costo mantenimiento Santo Reis. Tomado de (Rocha, 2017)	46
Tabla 11 Costos de mantenimiento de los barrios en Natal. Tomado y adaptado de (Silva, 2018).....	47
Tabla 12 Normatividad aplicada para el diseño de Ciudad Verde. Tomado de (Amarilo,2020)	50
Tabla 13 Comparación parámetros de diseño.....	51
Tabla 14 Costos del sistema del alcantarillado del diseño de Amarilo	56
Tabla 15 Diferencias en los parámetros de diseño	60
Tabla 16 Diseños realizados para el sistema condominial	61
Tabla 17 Diseños realizados para el sistema convencional de Ciudad Verde.....	62
Tabla 18 Características de la red de Ciudad Verde.....	63
Tabla 19 Parámetros de diseño usados	64
Tabla 20 Costo de la red del diseño optimizado cumpliendo normativa.....	68
Tabla 21 Parámetros mínimos implementados en Ciudad Verde.....	69



Tabla 22 Costo del sistema optimizado usando parámetros de Amarilo.....	73
Tabla 23 Comparación de los costos de la red para los tres diseños	74
Tabla 24 Parámetros de diseño sistema condominial	82
Tabla 25 Características de la red condominial que cumple con los 25 m de distancia.....	83
Tabla 26 Costos del sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia usando dos programas diferentes.....	84
Tabla 27 Características de la red condominial que no cumple con los 25 m de distancia	86
Tabla 28 Costos del sistema condominial que no cumple con los 25 m de distancia usando dos programas diferentes.....	87
Tabla 29 Costos de los sistemas condominiales diseñados	89
Tabla 30 Costos del sistema convencional optimizado (1.0 Pa)	91
Tabla 31 Flujo de caja para el sistema convencional	93
Tabla 32 Flujo de caja del sistema condominial que cumple 25 m de distancia.....	94
Tabla 33 Flujo de caja del sistema condominial que no cumple 25 m de distancia	95
Tabla 34 Indicador ratio costo efectividad para cada uno de los diseños.....	97



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Un sistema de alcantarillado se caracteriza por ser un conjunto de tuberías y obras complementarias cuyo objetivo es recolectar y disponer las aguas lluvias y/o residuales, las cuales se producen por la constante interacción del hombre con el ciclo hidrológico (Butler & Davies, 2009). Este tipo de sistema es importante para el adecuado funcionamiento de una ciudad ya que las aguas residuales transportan sólidos y/o materia orgánica que pueden generar problemas de salubridad. Es por esta razón que el adecuado diseño de un sistema de alcantarillado es una temática que en los últimos años ha tenido una gran relevancia, esto con el fin de poder minimizar los posibles problemas causados a los seres humanos y/o al ambiente debido a la mala disposición o transporte de este tipo de agua (Butler & Davies, 2009).

En el 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas planteó como sexto objetivo de desarrollo sostenible “Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y del saneamiento para todos” (Naciones Unidas, 2015). Para poder cumplir con este objetivo antes del 2030, el Plan Nacional de Desarrollo de Colombia plantea múltiples acciones que sirven para aumentar el porcentaje de aguas residuales urbanas domésticas tratadas y aumentar la infraestructura de alcantarillado tanto para la zona rural como para la urbana.

Como se puede observar el saneamiento básico es una temática que ha sido abordada internacionalmente. No obstante, se considera que la infraestructura de alcantarillado tiene dos grandes problemas: (1) Los elevados costos de construcción, operación y mantenimiento y (2) la alta dificultad de diseño ya que se deben tener en cuenta una gran cantidad de variables. Es por esta razón que en los últimos años se han implementado alternativas no convencionales para el transporte de agua residual, las cuales tienen como principal objetivo disminuir los costos y ser factibles financiera y socioeconómicamente (RAS, 2017). Es necesario mencionar que los sistemas no convencionales han tenido un gran auge en países en vía de desarrollo. Sin embargo, no es la única alternativa que ha sido desarrollado a lo largo de los años ya que en diferentes investigaciones internacionales se han implementado metodologías heurísticas y exhaustivas, cuyo objetivo es encontrar el diseño de un sistema de alcantarillado con un costo mínimo, cumpliendo con las restricciones de diseño establecidas por la norma.

Desde la década de los ochenta, uno de los alcantarillados no convencionales más implementados en América Latina, especialmente en Brasil y Perú, es el condominial. Este tipo de alcantarillado se caracteriza por recolectar las aguas residuales de un conjunto de viviendas y disponerlas en un punto de conexión de la red principal, lo anterior permite que la longitud y diámetro de las tuberías sea inferior a los usados en la construcción de un alcantarillado convencional (Melo, 2005). Por lo tanto, una de las ventajas que tiene este sistema es el bajo



costo de construcción, ya que es necesario una menor excavación de zanja, movimiento de tierra y longitudes de tuberías inferiores. Además, al cambiar el diámetro de las tuberías también se disminuirán los costos de inversión (Watson, 1995). Sin embargo, el éxito de este tipo de sistema está relacionado con la participación comunitaria ya que los miembros del condominio deben participar en el proceso de construcción, mantenimiento y realizar un pequeño pago en la inversión inicial (Melo, 2005).

Teniendo en cuenta que el alcantarillado no convencional más implementado en América Latina es el condominial se realizó una investigación bibliográfica en donde se comparaba este tipo de alcantarillado con el convencional. En la literatura se realizan múltiples comparaciones económicas del alcantarillado convencional y alcantarillado condominial, y en todas estas se concluye que los costos del sistema no convencional son inferiores en comparación al convencional, lo anterior se debe a que ambos sistemas tienen diferencias en los parámetros de diseño, tales como profundidad de excavación, diámetro de tuberías, entre otros. Adicionalmente, se realizó una búsqueda de información para conocer los costos de mantenimiento del alcantarillado convencional y condominial, en esta se encontró que a largo plazo el alcantarillado condominial no es económicamente viable, ya que representa mayores costos de mantenimiento y desobstrucción, los cuales son generados por su mal manejo.

En este trabajo se realizará una comparación económica entre el alcantarillado convencional optimizado y alcantarillado condominial, la cual no ha sido realizada anteriormente. Para el diseño del alcantarillado convencional optimizado se hará uso de un Software desarrollado por el Centro de Investigaciones en Acueducto y Alcantarillados de la Universidad de los Andes, denominado UTOPIA (Underground Topography for Optimal Pipeline Infrastructure Assesment). Para el diseño del alcantarillado condominial se implementará el programa SewerGems y UTOPIA. Por otro lado, para poder realizar esta comparación económica, se implementó como caso de estudio un macroproyecto en el municipio de Soacha, cuyo nombre es Ciudad Verde. A este proyecto se le realizará el diseño de la red condominial y convencional optimizado, para así poder comparar los costos y algunos parámetros de la red.



1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar el sistema de alcantarillado condominial y el convencional optimizado para el macroproyecto de Ciudad Verde, con el fin de comparar los costos de construcción de ambas redes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica que permita determinar las razones por las que se implementan alcantarillados condominiales a nivel internacional.
- Determinar las ventajas y desventajas de implementar un alcantarillado convencional frente a un alcantarillado condominial.
- Implementar el software UTOPIA para diseñar el sistema de alcantarillado convencional optimizado para el macroproyecto de Ciudad Verde
- Realizar el diseño del sistema condominial para el macroproyecto Ciudad Verde, implementando el software SewerGems.
- Comparar económicamente los dos sistemas de alcantarillado para Ciudad Verde.
- Seleccionar un indicador social para saber cuál sistema de alcantarillado representaría un mejor beneficio para la comunidad.



2. MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de drenaje urbano

Los sistemas de alcantarillado son necesarios en áreas urbanas y rurales porque estos sirven para evacuar las aguas producidas por la interacción entre las actividades del hombre y el ciclo del agua. La primera forma en la que se da la interacción es la captura del agua que los seres humanos realizan para poder satisfacer sus necesidades básicas, esta comúnmente se denomina agua residual (Butler & Davies, 2009). Por otro lado, el otro tipo de interacción se genera por la presencia de superficies impermeables que generan que las aguas lluvias se drenen, este tipo de agua es importante evacuarla ya que podría ocasionar inundaciones o generar vectores debido a su estancamiento (Butler & Davies, 2009). Teniendo en cuenta que esta interacción se puede dar de dos maneras diferentes es necesario que el sistema de alcantarillado tenga la función de evacuar los caudales de ambos flujos sin que se generen afectaciones en el sistema

Ahora bien, el sistema de alcantarillado se caracteriza por tener un componente de captación, conducción, inspección, regulación y alivio y bombeo, para que así el agua pueda ser transportada hasta una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) o a un cuerpo de agua que tenga la capacidad de asimilación (Aguilar, 2019). Para el adecuado funcionamiento de los componentes es necesario tener tubería fabricada a partir de diversos materiales (Hierro Dúctil, Termoplásticos, Acero, etc.), cajas terciarias, pozos de inspección, pozos de caída, tanquillas rompe cargas y bombas (Butler & Davies, 2009).

2.1.1 Importancia para el medio ambiente y ser humano

Los sistemas de alcantarillado son vitales para las ciudades en desarrollo ya que su principal objetivo es minimizar las repercusiones que tienen el agua residual para los seres humano y el medio ambiente. La incorrecta disposición de las aguas lluvias y aguas negras ocasiona problemas de salud pública, ya que se incrementan las enfermedades diarreicas, hepatitis A, colera, tifoidea, poliomielitis y agrava el retraso del crecimiento (OMS, 2019). A nivel mundial, se estima que 1.8 millones de personas mueren cada año debido a enfermedades diarreicas y un 90 % de esas personas son niños menores de cinco años (OMS, 2005). Además, la OMS considera que un 88 % de las enfermedades diarreicas son producto de un abastecimiento de agua insalubre y de un saneamiento deficiente (OMS, 2019). En Colombia, se registran anualmente más de 3'300,384 casos de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) (Instituto Nacional de Salud, 2018). No obstante, la tasa de mortalidad de la EDA disminuyó considerablemente entre el 1998 y 2016 ya que se pasó de 33.8 a 3.5 muertos por cada 100,000 menores de cinco años (Instituto Nacional de Salud, 2018).



Por otro lado, la inadecuada disposición de aguas negras no solo genera problemas de salud pública, sino que también puede provocar repercusiones en la calidad de los cuerpos de agua que se encuentran cercanos o incluso a las aguas subterráneas de la zona. Uno de los problemas más importantes es el incremento de la concentración de los parámetros que determinan la calidad del agua, por ejemplo, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), coliformes totales, entre otros (Odige, 2015). Una de las principales consecuencias de que esto ocurra es el proceso de eutrofización, el cual favorece la proliferación de ciertas algas que disminuyen la concentración de oxígeno en el agua, afectando a algunos seres vivos que se encuentran en esta (ejemplo: peces), lo cual deja sin posibilidad de alimento o de actividad económica a ciertas familias. Por otro lado, cuando las concentraciones de sustancias tóxicas en el agua incrementan, estas se bio-acumulan en toda la cadena alimenticia, lo cual podría generar problemas para la salud (Schneider et al., 2009).

Teniendo en cuenta las múltiples consecuencias que se generan por no tener un sistema de alcantarillado adecuado y no poder acceder a agua potable de alta calidad, a lo largo de los años se han realizado múltiples normativas y se han propuesto objetivos a nivel internacional para poder garantizar el acceso a agua de calidad y saneamiento adecuado. Dentro de los más importantes se encuentran los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

2.1.2 Tipos de alcantarillados

Los sistemas de alcantarillado transportan dos tipos de agua: residual y lluvia. Estas aguas pueden ser transportadas por tres sistemas diferentes: el combinado, el separado y el híbrido; es importante saber con anterioridad qué tipo de alcantarillado se tiene ya que de esto dependen algunos parámetros del diseño.

El sistema de alcantarillado combinado se caracteriza por transportar en una misma tubería agua residual y agua lluvia. En las épocas secas el sistema transporta solamente agua residual, no obstante, en épocas de alta precipitación el agua que predominará es el agua lluvia. Se considera que no es factible económicamente realizar el diseño de este tipo de alcantarillado porque en la mayoría del tiempo no se está usando la capacidad máxima de la tubería en toda su longitud, sino solamente una pequeña proporción de la capacidad. Como solución, se pueden implementar estructuras a lo largo de la red que desvíen el agua a un cuerpo receptor, esta alternativa es recomendable para épocas de mediana o alta precipitación en las que la profundidad del agua supera un nivel establecido (Butler & Davies, 2009). Estas estructuras se denominan Alivio Combinado y se pueden observar en la Figura 1

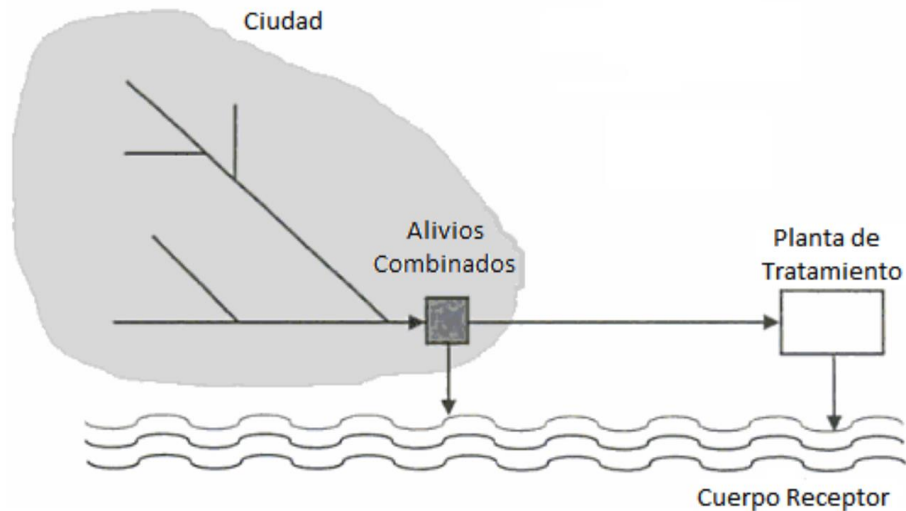


Figura 1 Esquema de un sistema combinado. Tomado de Salcedo (2012) y (Butler & Davies, 2009)

El sistema de alcantarillado separado transporta el agua residual y agua lluvia en tuberías distintas. Este tipo de drenaje tiene múltiples desventajas, en primer lugar, tiene un alto costo, el cual se debe a una mayor profundidad de excavación y a la compra de más tubería. Adicionalmente, es imposible asegurar una separación constante de las aguas, esto se debe a que el agua lluvia puede entrar a la tubería de agua residual por infiltración y, puede ocurrir lo contrario cuando existen conexiones erradas (Butler & Davies, 2009).

En tercer lugar, el alcantarillado híbrido es una combinación entre el alcantarillado combinado y separado. Este se caracteriza por tener una tubería que transporta la mayoría del agua lluvia y otra que transporta una mezcla entre agua residual y lluvia (Butler & Davies, 2009). Este alcantarillado es muy común en ciudades que tuvieron un crecimiento de población muy grande y fue necesario reajustar el sistema de alcantarillado.

2.1.3 Situación actual en Colombia

De acuerdo con el Estudio Sectorial de los Servicios Públicos Domiciliarios de Acueductos y Alcantarillados (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, SSPD, 2018) y del Sistema Único de Información (SUI) la cobertura en Colombia para el 2018 del servicio público de alcantarillado fue del 82.84 % para el área urbana y del 14.36 % para el área rural (Castillo et al., 2019). Sin embargo, el porcentaje para el área rural dispersa puede mostrar subvaloración ya que en estas zonas la prestación del servicio no se realiza mediante sistemas de tuberías y conductos convencionales, sino que se implementan soluciones alternativas, por ejemplo, pozos



sépticos, filtros percoladores, letrinas, entre otros; los cuales no pertenecen a las acciones de vigilancia de la SSPD y, por lo tanto, no son registrados en el SUI (Castillo et al., 2019). A partir de las cifras reportadas para el año 2018, se puede determinar que una gran parte de la población colombiana no cuenta con un servicio público de alcantarillado, especialmente, en el área rural.

En el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, se proponen diversos artículos en los que se plantean acciones y normativas que deben ser cumplidas tanto para las áreas urbanas como las rurales, para así poder incrementar el porcentaje de cobertura del sistema de alcantarillado y acueducto. Para el año 2019, se estimó que el 88.7% de la población colombiana tenía acceso a métodos de saneamiento adecuados, de los cuales el 93% se encontraban en las cabeceras municipales y el 75.3% en los centros poblados y rural disperso (DNP, 2020).

2.2 Generalidades del diseño de los sistemas de alcantarillado convencionales

2.2.1 Componentes

Para el adecuado funcionamiento de un Sistema de Drenaje Urbano es aconsejable que existan los siguientes elementos, sin importar el tipo de sistema (Salcedo, 2012):

- *Sumideros, Canales y Bajantes:* Su objetivo es recolectar el flujo que se encuentra en la superficie, como las aguas lluvias. Los sumideros se encuentran en los bordes de los andenes ya que estos están encargados de captar la escurrimiento para luego transportarla hacia la tubería del sistema de alcantarillado. Por otro lado, los canales y bajantes son estructuras que captan el agua lluvia de las edificaciones o los techos y ayudan a transportarla a la red.
- *Tuberías:* Su principal función es transportar el flujo al interior de la red.
- *Cámaras de inspección:* Estas estructuras son usadas con dos objetivos. En primer lugar, proporcionan acceso para que se realice el mantenimiento e inspección del alcantarillado. Además, se usan para el cambio de dirección de flujo, cambio de diámetro entre tuberías y/o conexiones entre redes.
- *Cámaras de caída:* Estas estructuras sirven para disipar el exceso de energía del flujo que llega a la cámara de inspección, para así poder evitar daños en el sistema.
- *Aliviaderos:* Su función es evacuar las aguas cuando estas sobrepasan un nivel determinado, con el fin de reducir los costos de conducción y posibles desbordamientos del sistema.



- *Sifones invertidos*: Se encargan de sobrepasar cualquier obstáculo que se encuentre en el trazado de la red, por ejemplo, un arroyo o carretera. Además, garantiza que después de la obstrucción se tenga la mayor elevación posible porque estos funcionan a presión.
- *Sistemas de Almacenamiento Temporal*: Sirven para almacenar el agua con el fin de disminuir los picos de caudal y contaminantes producidos por un evento de precipitación. No obstante, se debe tener en cuenta el tiempo de retención porque si este es muy alto se pueden generar malos olores en la zona.
- *Canales Abiertos*: Captan y transportan el agua lluvia hacia el sistema de drenaje.
- *Estructuras de disipación de energía*: Se encargan de disipar energía para que el flujo pase de supercrítico a subcrítico. Normalmente están ubicados en los puntos en donde se entrega el agua, por ejemplo, alcantarillado que descargue en canales, cuerpos de agua, entre otros.
- *Válvulas de cheque*: Ayudan a prevenir el contraflujo en el sistema para que así no existan posibilidades de inundaciones (Bizier, 2007).
- *Estaciones de bombeo*: Se usan cuando el agua no puede ser transportada solamente por gravedad, por lo tanto, es necesario implementar bombas para incrementar la energía hidráulica del flujo (Butler & Davies, 2009).

2.2.2 Aspectos del diseño hidráulico

Los flujos pueden clasificarse según dos criterios: su variación con respecto al espacio (Uniforme o Variado) y su variación con respecto al tiempo (Permanente o No permanente). Al combinar estas categorías se tienen los siguientes cuatro tipos de flujo: Flujo Uniforme-Permanente, Flujo Uniforme-No Permanente, Flujo Variado-Permanente y Flujo Variado-No Permanente. Para el diseño de los sistemas de alcantarillado se implementa el primer tipo de flujo, es decir, el Flujo Uniforme, el cual se caracteriza porque ninguna de las características del flujo varía ni en el espacio ni en el tiempo. A partir de esta suposición es posible afirmar que la profundidad de la lámina de agua es constante a lo largo de la tubería. Aunque el diseño de la tubería se realice con esta suposición, se debe tener en cuenta que realmente el flujo en la red es no permanente, no obstante, el dimensionamiento de la red de cada tramo puede hacerse con esta suposición ya que siempre va a existir una tendencia a establecer este tipo de flujo (Saldarriaga, 2020).



Teniendo en cuenta que la característica más importante del Flujo Uniforme es que las propiedades no varían ni en el tiempo ni en el espacio, se tiene que la velocidad y la profundidad no cambian a lo largo de la tubería, lo cual implica que línea de gradiente hidráulico (LGH) debe ser paralela al fondo. Además, la altura de velocidad es constante para todas las secciones, lo cual genera que la línea de energía total (LET) sea paralela a la LGH. En otras palabras, las pendientes del fondo del canal, de la superficie de agua y de la línea de energía son paralelas entre sí, lo cual facilita el cálculo hidráulico para el diseño de las tuberías. En la Figura 2 se puede observar esta suposición realizada.

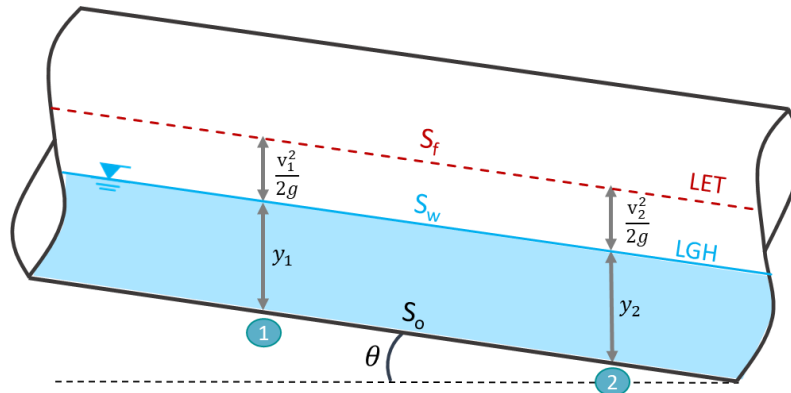


Figura 2 LET y LGH para tuberías fluyendo parcialmente llenas. Tomado y adaptado de (Saldarriaga, 2021)

En la Figura 2, se puede observar que la tubería de alcantarillado no se encuentra fluyendo a presión, ya que esto podría generar sobrecargas y malos olores en el sistema. Por esta razón, se recomienda que este tipo de tuberías siempre se encuentre fluyendo parcialmente llena, y esto tiene un comportamiento igual al de un canal abierto. Las dos características principales del flujo en tuberías parcialmente llenas son: (1) la rugosidad absoluta es constante a lo largo de la tubería, y (2) la sección transversal es igual en toda la tubería.

2.2.3 Ecuaciones de diseño

2.2.3.1 Propiedades geométricas de las tuberías fluyendo parcialmente llenas

En esta sección se muestran las ecuaciones recomendadas para determinar las propiedades geométricas de una tubería de alcantarillado fluyendo parcialmente llena. Para todas las ecuaciones que se mostraran a continuación, se tiene un círculo como la sección transversal, cuyas propiedades se muestran en la Figura 3.

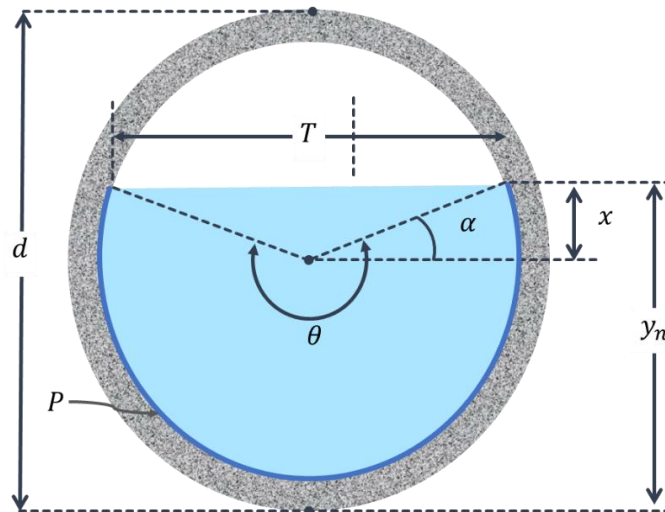


Figura 3 Sección transversal tubería fluyendo parcialmente llena. Tomado y modificado de (Saldarriaga, 2021)

En la Tabla 1 se pueden observar las propiedades geométricas que es necesario calcular para el diseño, además de su simbología, descripción y unidades en el sistema internacional. Estas propiedades son fundamentales para determinar la velocidad y el caudal de diseño de cada una de las tuberías, lo cual va a servir para seleccionar el diámetro y la pendiente que cumplan con las restricciones hidráulicas.

Tabla 1 Propiedades geométricas de tubería fluyendo parcialmente llena. Tomado y adaptado de (Butler & Davis, 2009) y (Salcedo, 2012)

Propiedad Geométrica	Símbolo	Descripción	Unidades (SI)
Profundidad de flujo	y_n	Altura del agua por encima de la cota de batea	[m]
Ángulo	θ	Ángulo que se forma en el centro de la tubería por la superficie libre	[rad]
Área mojada	A	Área mojada de la sección transversal	[m ²]
Perímetro mojado	P	Porción del perímetro del flujo que está en contacto con el canal	[m]
Radio Hidráulico	R	Área mojada por unidad de perímetro	[m]
Ancho de la superficie	T	Ancho del flujo en la tubería	[m]
Profundidad hidráulica	D	Área por unidad de ancho de la superficie	[m]



A continuación, se encuentran las ecuaciones con las que se pueden calcular cada una de las propiedades geométricas de la tubería:

- *Ángulo (θ):*

$$\theta = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{y_n - d/2}{d/2}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

- *Área mojada:*

$$A = \frac{1}{8}(\theta - \sin \theta)d^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

- *Perímetro mojado:*

$$P = \frac{1}{2}\theta d \quad \text{Ecuación 3}$$

- *Radio Hidráulico:*

$$R = \frac{A}{P} = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)d \quad \text{Ecuación 4}$$

- *Ancho de la superficie:*

$$T = d \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{y_n - d/2}{d/2}\right)\right) \quad \text{Ecuación 5}$$

- *Profundidad hidráulica:*

$$D = \frac{A}{T} = \frac{(\theta - \sin \theta) d}{8 \cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{y_n - d/2}{d/2}\right)\right)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Algunas propiedades hidráulicas relacionadas con las propiedades geométricas son el número de Froude (Fr), el número de Reynolds (Re) y el esfuerzo cortante (τ_o). Para su cálculo se emplean la Ecuación 7, Ecuación 8 y Ecuación 9, respectivamente.

- *Número de Froude:*

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

v : La velocidad del agua [m/s]

g : La aceleración de la gravedad [m/s²]



- *Número de Reynolds:*

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D\mu}$$

Ecuación 8

Donde:

ρ : La densidad del agua [kg/m³]

μ : La viscosidad dinámica del agua [Pa · s]

Q: El caudal [m³/s]

- *Esfuerzo cortante:*

$$\tau_0 = \gamma RS$$

Ecuación 9

Donde:

γ : El peso específico del agua [N/m³]

2.2.3.2 Ecuaciones de diseño de alcantarillas

Para el diseño de una tubería de alcantarillado es fundamental determinar el caudal de diseño y/o la velocidad del flujo, para poder determinarlas se pueden implementar dos ecuaciones: la de Manning y la ecuación de Chézy, esta última es utilizada en conjunto con la ecuación de Colebrook- White y Darcy-Weisbach (Salcedo, 2012). A continuación, se realizará una breve descripción de cada una de las ecuaciones:

Ecuación de Manning

En 1889, el ingeniero Robert Manning propuso una ecuación empírica que es usualmente utilizada en el cálculo de canales abiertos fluyendo bajo la condición de flujo uniforme.

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

Ecuación 10

Donde:

R: El radio hidráulico [m]

S: La pendiente de la línea de energía [-]

n: Coeficiente de rugosidad de Manning [-]

Aunque esta ecuación sea comúnmente utilizada en canales abierto, su aplicación en tubería de alcantarillado no es recomendable ya que la ecuación de Manning fue planteada para Flujo Turbulento Hidráulicamente Rugoso (FTHR), y los materiales utilizados en la actualidad son



muy lisos, por lo que los flujos que se obtienen en las tuberías están por fuera del rango de validez de esta ecuación (Salcedo, 2012).

Ecuación de Chézy

En 1769, el ingeniero Antoine Chézy desarrollo, probablemente, la primera ecuación de flujo uniforme.

$$v = C\sqrt{RS} \quad \text{Ecuación 11}$$

En la Ecuación 11 están como parámetros el radio hidráulico del canal, la pendiente de la línea de energía y un factor de resistencia de flujo, conocido como el C de Chézy.

Ecuación de Darcy-Weisbach

Ahora bien, la ecuación más general para calcular las pérdidas por fricción en ductos es la ecuación de Darcy- Weisbach, la cual es físicamente basada y es comúnmente utilizada porque tiene en cuenta las ecuaciones de Newton para el movimiento y las teorías de capa límite de Prandtl. Adicionalmente, es aplicable tanto para flujo a presión como para flujo en canales (Saldarriaga, 2020).

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 12}$$

En la Ecuación 12 se tiene como parámetros la velocidad del flujo, el diámetro, longitud del conducto, la gravedad y un factor de fricción (f).

Ecuación de velocidad

Al obtener la relación entre la ecuación de Chézy y la de Darcy-Weisbach, esta se puede reemplazar en la ecuación implícita de Colebrook-White para el cálculo del factor de fricción y como resultado se obtiene la Ecuación 13 de velocidad.

$$v = -2\sqrt{8gRS} \log_{10} \left(\frac{k_s}{14.8R} + \frac{2.51\vartheta}{4R\sqrt{8gRS}} \right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

- k_s : La rugosidad absoluta de la tubería [m]
- g : La aceleración de la gravedad [m/s^2]
- R : El radio hidráulico [m]
- S : La pendiente de la línea de energía [-]
- ϑ : La viscosidad cinemática del agua [m^2/s]



Esta ecuación para el cálculo de la velocidad de flujo en la tubería es explícita e involucra ecuaciones físicamente basadas, como lo son la ecuación de Colebrook-White y Darcy-Weisbach. Además, la Ecuación 13 es válida para todo el rango de turbulencia, es decir, funciona para Flujo Turbulento Hidráulicamente Liso y Flujo Turbulento Hidráulicamente Rugoso (Salcedo, 2012).

2.2.4 Restricciones de diseño

Para garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado, la Resolución 0330 del 2017 establece algunas restricciones de diseño. En esta sección se mencionarán los parámetros y los valores recomendados para el sistema de alcantarillado convencional.

- *Diámetro nominal mínimo:* El diámetro interno real mínimo permitido en redes de alcantarillado sanitario es 170 mm, pero para poblaciones menores a 2.500 habitantes el diámetro interno real es 140 mm. Por otro lado, para agua lluvia el diámetro mínimo es 215 mm. Es importante respetar estos valores de diámetro mínimo ya que esto ayuda a evitar obstrucciones en el sistema provocados por objetos grandes.
- *Relación máxima de llenado:* Con el fin de que exista una aireación del flujo, se recomienda que la profundidad de flujo sea máximo el 85% del diámetro real interno de cada una de las tuberías.
- *Velocidad máxima:* La velocidad máxima real en un colector por gravedad no debe sobrepasar los 5 m/s. En algunas ocasiones es posible permitir velocidades mayores a este valor, no obstante, la velocidad no debe sobrepasar los límites de velocidad recomendados para cada material del ducto y/o de los accesorios. Las tuberías que tengan una velocidad mayor a 5 m/s deben tener un revestimiento interior. La velocidad máxima permitida en el sistema es de 10 m/s para tuberías termoplásticas.
- *Velocidad mínima:* Este parámetro es importante porque cuando se obtienen velocidades de flujo muy bajas se permite la sedimentación de sólidos en las tuberías, los cuales podrían generar un taponamiento de estas y posibles inundaciones. Por esta razón, Se recomienda que la velocidad mínima real en el colector del alcantarillado sanitario es aquella con la que se obtenga un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 1.0 Pa.
- *Profundidad mínima y máxima a la cota clave:* Para poder garantizar la protección de las tuberías y que las descargas domiciliarias puedan ser drenadas por gravedad, es importante, cumplir con las restricciones de profundidad que se encuentran en la Tabla 2 que es lo que se detalla en la Resolución 0330. Por otro lado, para controlar las cargas a



las cuales están sometidas las tuberías se recomienda que la profundidad máxima sea de 5 m.

Tabla 2 Profundidad mínima a la cota clave

Ubicación	Profundidad a la clave del colector [m]
Vías peatonales o zonas verdes	0.75
Vías vehiculares	1.20

- *Esfuerzo cortante mínimo:* El proceso de remoción de las partículas en el interior de las tuberías se da principalmente por la fuerza de arrastre que ejerce el flujo sobre ellas. Por esta razón, para evitar la sedimentación de sólidos en las tuberías, se recomienda que el esfuerzo cortante mínimo sea de 1.0 Pa.
- *Pendiente mínima y máxima:* Estos parámetros se determinan según la velocidad permitida, la pendiente mínima es aquella en donde se obtiene la velocidad mínima para generar un esfuerzo cortante de 1.0 Pa. Por otro lado, la pendiente máxima será aquella en donde se tenga la velocidad máxima de la tubería.

2.2.5 Ecuación de costos

Uno de los parámetros fundamentales para el diseño de una red de alcantarillado es determinar los costos del sistema. Por esta razón, a lo largo de los años se han planteado múltiples ecuaciones que no solo describen los costos generados por el diámetro de la tubería, sino que además incluyen los costos de excavación. Además, estas ecuaciones de costos son comúnmente utilizadas como función objetivo en el diseño optimizado de una red de alcantarillo ya que estos diseños se caracterizan por querer minimizarla. En el presente trabajo se incluyeron los costos de construcción, de mantenimiento y de las cámaras de inspección. A continuación, se detallará cada una de las ecuaciones:

Costos de Construcción

Una ecuación implementada en Colombia para determinar los costos del sistema de alcantarillado es la de Navarro (2009), la cual incluye el costo por metro lineal de tubería y el costo de excavación. La Ecuación 14, le da un mayor peso a los costos asociados con la profundidad de excavación que a los costos por metro lineal de tubería.



$$C_{ij} = k(9579.31d_{ij}^{0.5737}l_{ij} + 1163.77V_{ij}^{1.31})$$

Ecuación 14

Donde:

C_{ij} : Costo del tramo ij [COP]

l_{ij} : Longitud del tramo ij [m]

d_{ij} : Diámetro del tramo ij[m]

V_{ij} : Volumen de excavación del tramo ij [m³]

k : Factor de conversión de pesos de diciembre del 2007 a julio del 2018, igual a 1.53 [-]

Para el cálculo del volumen necesario de excavación para instalar la tubería se recomienda implementar la Ecuación 15:

$$V_{ij} = \left(\left[\frac{H + H'}{2} \right] + d + 2e + g \right) * (2B + 2e + d) * (l \cos[\tan^{-1} s])$$

Ecuación 15

Donde:

V_{ij} : Volumen de excavación del tramo ij [m³]

H : Profundidad de excavación hasta la cota clave aguas arriba de la tubería [m]

H' : Profundidad de excavación hasta la cota clave aguas abajo de la tubería [m]

d : Diámetro de la tubería[m]

e : Espesor de la pared de la tubería [m]

h : Relleno bajo de la tubería [m]

B : Espacio lateral al lado de la tubería [m]

s : Pendiente de la tubería

l : Longitud de la tubería [m]

La Figura 4 representa todos los parámetros que se deben tener en cuenta para el cálculo del volumen de excavación.

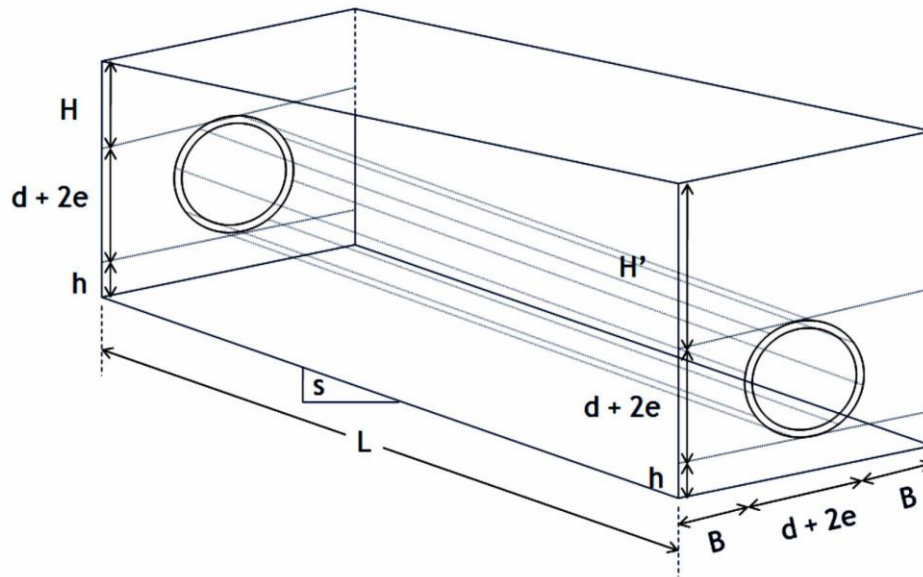


Figura 4 Parámetros del volumen de excavación para una tubería. Tomado de (Duque, 2015) y (CIACUA, 2013)

Costos de las Cámaras de Inspección

Para analizar adecuadamente los costos que se generan en un sistema de alcantarillado, también es posible determinar los costos de cada una de las cámaras de inspección. La Ecuación 16 fue determinada por (Peinado Calao, 2016) y depende de la profundidad de cada una de las cámaras de inspección.

$$C_{cam} = 2065338,568 - 321218,858H_f + 1.1515H_f^2 \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

C_{cam} : Costo unitario para cámaras de inspección en concreto D=1.20 m [COP\$/m]

H_f : Profundidad de la cámara de inspección[m]

Costos de mantenimiento

Para determinar los costos de mantenimiento se solicitó información a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Sin embargo, esta empresa solo contaba con información de los costos de mantenimiento para un sistema de alcantarillado convencional ya que en la ciudad no se cuenta con sistemas condominiales. Por esta razón, se escribieron correos a múltiples empresas brasileras, no obstante, no se obtuvo respuesta de ninguna de estas. Para los costos del sistema condominial se decidió usar información que se encontraba en las fuentes bibliográficas y para el sistema convencional se implementó un cuadro enviado por el Acueducto.



En la Figura 5 se pueden observar los costos de mantenimiento del sistema de alcantarillado convencional para la ciudad de Bogotá, Colombia.

SUMINISTRO ESCALERAS DE ACCESO PARA POZOS		
Suministro escalera de acceso en polipropileno con refuerzo interno en acero	M	\$ 211.088
Eliminación de Obstrucciones en Red de Alcantarillado con equipo robotizado fresador, incluye equipos, materiales, transportes y personal. Diámetro 8" a 36".	UN	\$ 1.355.230
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 8", incl. sum. t = 3,5 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 884.420
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 10", incl. sum. t = 3,5 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 982.771
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 12", incl. sum. t = 4,0 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 1.156.843
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 14", incl. sum. t = 4,5 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 1.362.624
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 16", incl. sum. t = 6,5 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 1.821.858
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 18", incl. sum. t = 7,0 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 2.127.569
Inst tub alcant fabr en sitio CIPP, D 20", incl. sum. t = 8,0 mm, E = 10000 MPa,	M	\$ 2.461.559
Demolicion, Suministro e instalacion de tapas de alcantarillado	UN	\$ 662.677
Rehabilitación domiciliaria de alcantarillado Diámetro 150 mm, espesor 4mm (o equivalente para UV), con tecnología CIPP (Cured In Pipe Place) según normativa ASTM F1216, ASTM F1743 y EAAB (NS-150, NS 152 y NP 110), Espesor calculado según normativa antes mencionada, para condición totalmente estructural. Incluye personal, equipos idóneos para realizar el proyecto, descolille de la manga en ambos costados de la domiciliaria, limpieza de la tubería, inspección e informe previo y final con equipos CCTV acorde con la norma NS-058, manejo de aguas. Muestreo y ensayo de laboratorios de espesor y módulo de elasticidad a la flexión a corto plazo según ASTM D790-8660.	M	\$ 666.658
Rehabilitación domiciliaria de alcantarillado Diámetro 150 mm, espesor 6mm (o equivalente para UV), con tecnología CIPP (Cured In Pipe Place) según normativa ASTM F1216, ASTM F1743 y EAAB (NS-150, NS 152 y NP 110), Espesor calculado según normativa antes mencionada, para condición totalmente estructural. Incluye personal, equipos idóneos para realizar el proyecto, descolille de la manga en ambos costados de la domiciliaria, limpieza de la tubería, inspección e informe previo y final con equipos CCTV acorde con la norma NS-058, manejo de aguas. Muestreo y ensayo de laboratorios de espesor y módulo de elasticidad a la flexión a corto plazo según ASTM D790-8660.	M	\$ 740.685

Figura 5 APU de redes menores de Alcantarillado Convencional Fuente:(Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2021)

En la Tabla 3 se pueden observar los costos de mantenimiento del sistema condominial que fueron extraídos del trabajo realizado por Silva (2018). En este se mencionan los costos del vehículo usado para la desobstrucción de este tipo de alcantarillado y los salarios del personal



necesario en los vehículos en la ciudad de Natal, Brasil. Se debe mencionar que estos costos son del 2018, sin embargo, serán usados porque fue la única información que se logró conseguir del costo de mantenimiento de estos sistemas.

Tabla 3 Costos de mantenimiento del sistema condominial para la ciudad de Natal, Brasil. Fuente: (Silva,2018)

Servicio	Costo por año (R\$)
Vehículos de desobstrucción, incluye el combustible y el mantenimiento.	R\$ 56,516.58
Salario del personal necesario para el mantenimiento del sistema.	R\$ 1,740.00

2.3 Generalidades de los sistemas de alcantarillado no convencionales

En la Resolución 0330 del 2017 de Colombia, se menciona que para todas las poblaciones se deben adoptar soluciones de sistemas convencionales, pero para las poblaciones en las que se considere necesario implementar sistemas no convencionales es necesario justificar la decisión con estudios socioeconómicos, socioculturales, financieros, institucionales y de desarrollo urbano. Además, este tipo de alcantarillado debe contar con la aceptación por parte de la comunidad porque su participación es fundamental para el adecuado funcionamiento del sistema. Los alcantarillados no convencionales son una alternativa factible cuando los sistemas convencionales no son viables ni financiera ni socioeconómicamente, no obstante, requieren de mucho más control y definición de las contribuciones de aguas residuales (RAS, 2017).

En la normativa colombiana se menciona que existen tres tipos de alcantarillados no convencionales residuales, el alcantarillado simplificado, el condominial y el alcantarillado sin arrastre de sólidos. En general, los alcantarillados no convencionales se diferencian de los convencionales porque tienen distintos parámetros de diseño en la profundidad de excavación, diámetro de las tuberías, relación de llenado, entre otros. En la Figura 6 se puede observar la clasificación de los sistemas de alcantarillado en Colombia.

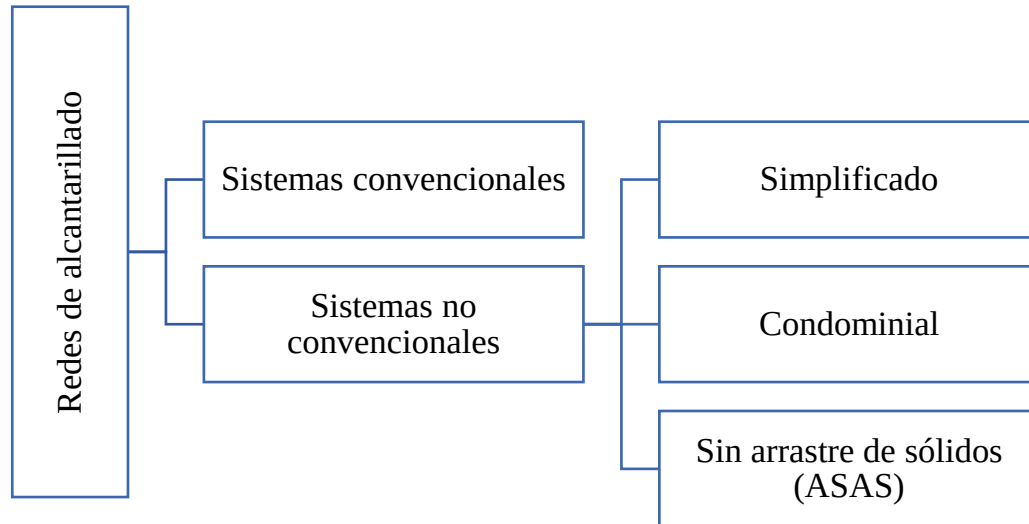


Figura 6 Tipos de redes de alcantarillado en Colombia

2.3.1 Alcantarillado Condominial

Este alcantarillado fue creado por el Ingeniero José Melo, en la década de 1980, para incrementar las redes de agua y alcantarillado en Brasil, como solución a los desafíos generados por la expansión periurbana. Este modelo es comúnmente utilizado en Brasil, especialmente, en ciudades como Brasilia, Salvador y Parauapebas (Melo, 2005).

El sistema condominial se diferencia de uno convencional en dos aspectos. En primer lugar, se redefine la unidad en la cual se presta el servicio, los sistemas convencionales prestan servicio a cada vivienda, no obstante, los condominiales lo hacen a cada manzana de viviendas. Por otro lado, para el adecuado funcionamiento de un sistema condominial es necesario que la comunidad participe en la selección, diseño, construcción y mantenimiento del alcantarillado, por esta razón, se afirma que este tipo de alcantarillado incrementa la relación entre el proveedor y el usuario (Melo, 2005).

En la Resolución 0330 del 2017, se menciona que este tipo de alcantarillado debe descargar el agua a una estructura de conexión de un alcantarillado simplificado o convencional. Por lo tanto, la red de este sistema está compuesta por redes principales y ramales condominiales. Las redes principales se diseñan como un sistema convencional y estas son tangentes a las manzanas y se conectan a las viviendas en un único punto, por otro lado, los ramales condominiales recogen las aguas de un conjunto de viviendas y la transportan a la red principal (Melo, 2005). En la Figura 7 se muestra la diferencia en el trazado de la red de un sistema convencional y uno condominial.

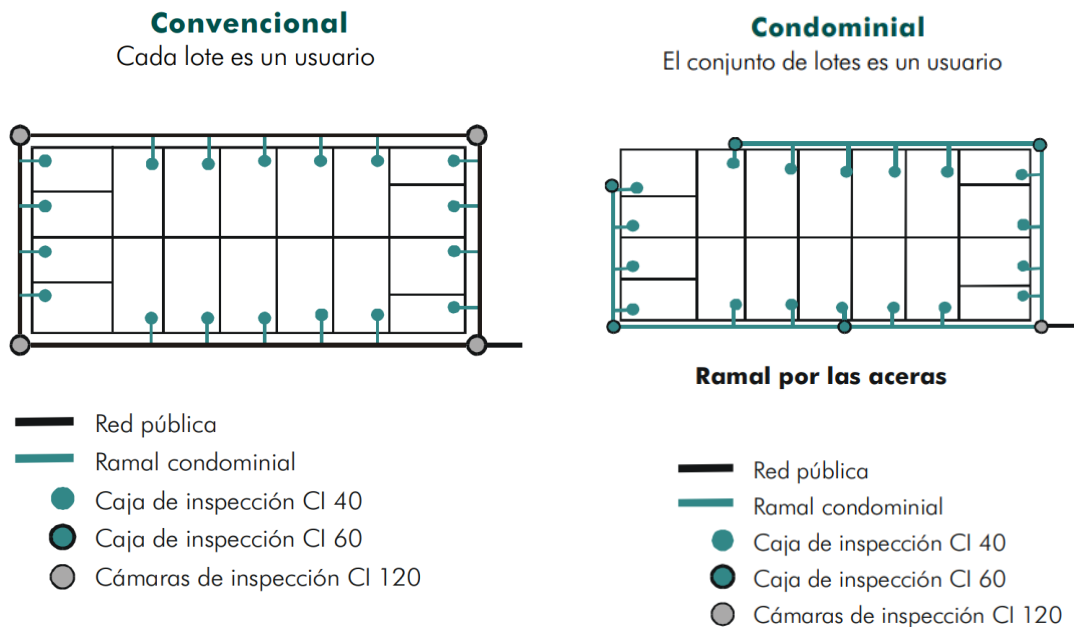


Figura 7 Comparación del trazado de la red de redes convencionales y condominiales. Tomado de (“Sistemas Condominiales de Alcantarillado Sanitario: Guía de Procedimientos,” 2001)

Este trazado de la red permite que se reduzca la longitud de la tubería y las profundidades de excavación, lo cual está relacionado directamente con la reducción de costos de construcción. Otro factor que ayuda a disminuir los costos de la red es reducir el diámetro de las tuberías ya que a menor diámetro se tiene un menor costo del material. Estas son las razones principales por las que se considera que el costo de construcción de este tipo de sistema es inferior al del alcantarillado convencional.

2.3.2 Alcantarillado Sin Arrastre de Sólidos (ASAS)

En este tipo de alcantarillado, las aguas residuales son decantadas o sedimentadas antes de ser transportadas por la red, esto con el fin de retener la parte sólida y solo transportar lo líquido hacia los colectores. La sedimentación de sólidos se realiza en tanques sépticos o tanques interceptores que pueden recibir las aguas residuales de una o varias casas. Una de las principales diferencias en el diseño de este tipo de alcantarillado con respecto al convencional, es que el ASAS se puede diseñar como canal abierto o a presión, mientras que el convencional siempre es diseñado fluyendo parcialmente lleno (Garrido, 2008).

En la Resolución 0330 del 2017, se menciona que, si se decide realizar este tipo de alcantarillado es necesario que existan equipos mecánicos que extraigan periódicamente los sedimentos de los tanques sépticos o cajas interceptoras, y que estos aseguren la apropiada disposición de los sólidos en plantas de tratamiento de aguas residuales o en terrenos apropiados para esto.



2.3.3 Alcantarillado Simplificado

Este tipo de alcantarillado fue inventado con el fin de recolectar las aguas residuales de una comunidad a un costo accesible para las poblaciones de bajos recursos económicos. Los alcantarillados simplificados se diferencian de los convencionales en que disminuyen las profundidades de excavación, se implementan tuberías de menor diámetro y la relación de llenado es menor (Mejía, 1993).

En la Resolución 0330 del 2017, se especifica que el trazado de esta red se debe hacer por aceras o zonas verdes, con el propósito de minimizar las longitudes. Además, se tienen profundidades mínimas de máximo 1.0 m y mínimo de 0.6 m, lo cual es inferior a las profundidades para los alcantarillados convencionales que se encuentran en la Tabla 2.

En Colombia existen pocos lugares en donde se implementen los alcantarillados no convencionales, concretamente, estos se instalan en barrios de bajos recursos económicos, lo cual está relacionado con la idea de que este tipo de alcantarillado es más económico que el convencional (Garrido, 2008). No obstante, los alcantarillados no convencionales se consideran una alternativa muy costosa a largo plazo y solo puede implementarse en casos en los que los propietarios tienen la capacidad monetaria de pagar por la totalidad del mantenimiento y operación (Butler & Davies, 2009).

En la Tabla 4 se realiza una comparación de las restricciones de diseño de los alcantarillados convencionales y no convencionales que se encuentran en la norma colombiana.

Tabla 4 Comparación de parámetros de diseño de alcantarillados convencionales y no convencionales. Tomado y adaptado de (Criollo, 2021)

Parámetro	Convencional	No convencionales		
		Simplificado	Condominial	Sin Arrastre de Sólidos
Trazado	En vías, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la calzada	Aceras o zonas verdes	Acera o dentro de lotes privados	N.A.
Profundidad mínima a la cota clave	0.75 m vías peatonales o zonas verdes 1.20 m a vías vehiculares	0.60 m en aceras o zonas verdes 1.0 m en cruces y vías	0.3 m en lotes 0.6 m en acera 1.0 en cruces y entradas de garajes	N.A.
Diámetro interno real mínimo	170 mm para poblaciones >2500 140 mm para poblaciones $\leq$ 2500	145 mm	145 mm	95 mm



Parámetro	Convencional	No convencionales		
		Simplificado	Condominial	Sin Arrastre de Sólidos
Esfuerzo cortante	1.0 Pa	N.A.	1.0 Pa	N.A.
Velocidad mínima	N.A.	0.4 m/s	N.A.	N.A.
Velocidad máxima	5 m/s- 10 m/s	5 m/s -10 m/s	5 m/s	N.A.
Relación de llenado	85%	80%	80%	80%

2.4 Generalidades del diseño optimizado de alcantarillados

El diseño optimizado de un sistema de alcantarillado es un problema complejo debido a la cantidad de variables que se deben determinar, las cuales son dependientes de cada sistema. Es por esta razón que este tipo de problema puede ser dividido en dos etapas: la selección del trazado y el diseño hidráulico (Duque, 2015). En primer lugar, para la selección del trazado se determina el sentido de las tuberías, caudales de diseño y el tipo de tubería en cada uno de los conductos. Por otro lado, en la etapa de diseño hidráulico se definen los diámetros, pendientes y profundidades de excavación de la tubería en cada uno de los tramos de la red.

Teniendo en cuenta la dificultad del problema, a lo largo de los años se han implementado diferentes metodologías tanto heurísticas como exhaustivas que intentan determinar el diseño con el menor costo, por ejemplo, programación lineal, algoritmos genéticos, recocido simulado, algoritmo de la colonia de hormigas, entre otros (Zhuan et al., 2017). El Centro de Investigaciones en Acueducto y Alcantarillados (CIACUA) de la Universidad de los Andes ha realizado múltiples algoritmos en los que se implementa una programación lineal entera mixta (Duque, 2015) o una metodología multiobjetivo que permita optimizar los costos de construcción de la red y la confiabilidad (Aguilar, 2019).

En la metodología de Duque (2015) se menciona que, para la primera etapa del diseño de sistemas de alcantarillado, la selección del trazado, se debe determinar hacia donde fluye el agua desde cada pozo de inspección y como se conectan las tuberías entre sí. No obstante, para definir estas características es necesario conocer la topografía y topología de la red, en la cual se mencionan las coordenadas, es decir, la ubicación de los pozos de inspección. Adicionalmente, las redes de alcantarillado son consideradas redes abiertas ya que estas tienen



estructura de árbol. Al ser una red abierta, no pueden existir ciclos en los que se recircule el agua residual. Por esta razón, se considera que existen dos tipos de tubería: tubería de inicio y tuberías continuas. Las tuberías de inicio son las que se encuentran en los extremos de la red, por lo tanto, no tienen tuberías conectadas aguas arriba. En segundo lugar, las tuberías continuas “reciben el caudal de las tuberías que llegan desde aguas arriba, más el caudal aportado por el área aferente” (Duque, 2015). En la Figura 8 se muestra un ejemplo de los dos tipos de tuberías y el punto de descarga.

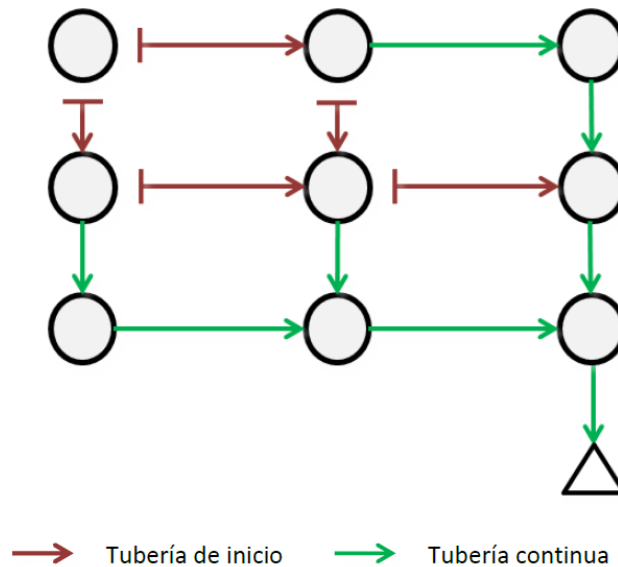


Figura 8 Los dos tipos de tuberías en la red de alcantarillado. Tomado de (Duque, 2015)

Después de haber seleccionado el trazado de la red se deben determinar los diámetros y las pendientes de cada uno de los tramos de la red, teniendo en cuenta que el objetivo es minimizar el costo total de construcción y asegurar que se cumplan las restricciones de diseño establecidas en la norma. Sin embargo, existe una gran cantidad de alternativas de diseño que cumplen con las restricciones establecidas, pero solo una representa la de menor costo de construcción y esta es la considerada como el diseño hidráulico óptimo de la red.

Para la selección del trazado de las redes de alcantarillado en la metodología de Duque (2015) se implementó una Programación Entera Mixta en las que se tienen variables de decisión que modelan el flujo y la elección del sentido de este. Adicionalmente, la red de alcantarillado se modela como un grafo dirigido, teniendo en cuenta que los grafos se representan a partir de un conjunto de Nodos y Arcos. Los atributos de los nodos ayudan a determinar cuál es el nodo inicial y el final, por otro lado, los atributos de los arcos son los costos asociados, capacidad,



distancia, entre otros. Al implementar la teoría de grafos, mediante la Programación Entera Mixta es posible modelar la red como un problema de diseño de redes.

Ahora bien, el problema del diseño hidráulico de un grafo se resuelve como un Problema de Ruta Más Corta con el algoritmo de Bellman-Ford. Con este algoritmo es posible determinar la ruta más corta desde un punto de partida hasta todos los nodos del grafo. Esta metodología fue implementada en el software denominado UTOPIA. En primer lugar, para la selección del trazado de la red este software implementa la solución del problema de diseño de redes y este se encuentra en un modelo de XPRESS-MP, por otro lado, para la selección del diseño hidráulico se usa el algoritmo de Bellman-Ford que se encuentra en un modelo JAVA. En la Figura 9 se detalla la metodología que implementa el software UTOPIA.

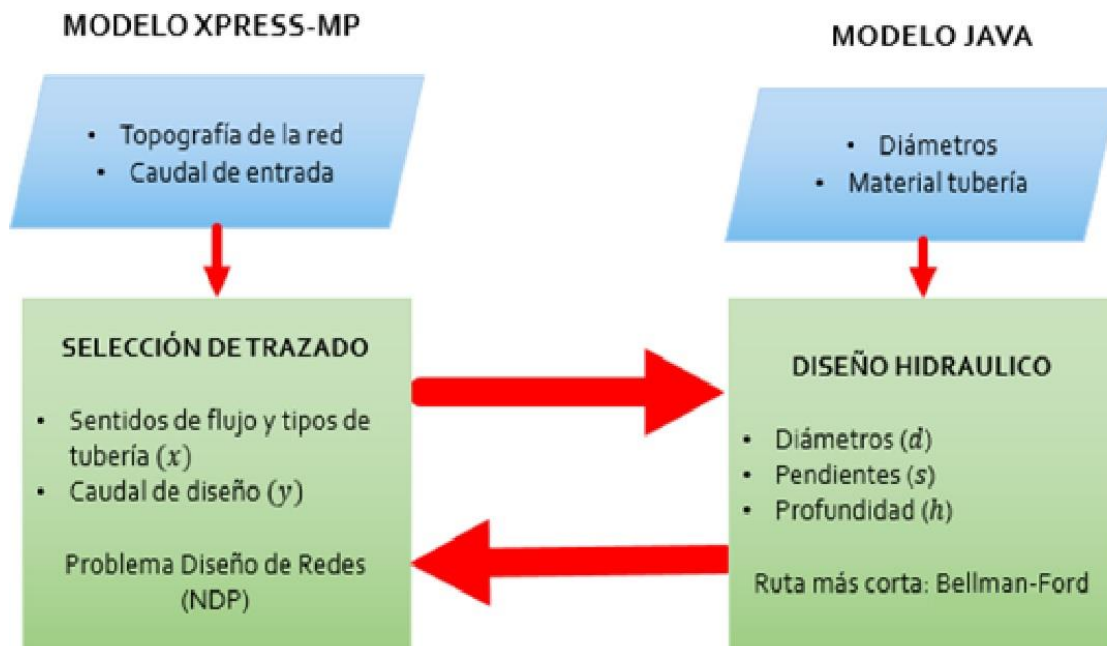


Figura 9 Metodología desarrollada por Duque (2015) para el diseño de alcantarillado. Tomado de Aguilar (2016)

3. ANTECEDENTES

3.1 Historia del alcantarillado condominial

En 1950, hubo una expansión de la industria y de los procesos de urbanización en las principales ciudades de Brasil, lo cual generó un aumento demográfico considerable que no contaba con la infraestructura necesaria. Por esta razón, para 1955 casi el 80% de los municipios brasileiros no contaban con abastecimiento de agua potable y en muchos no se tenía la intervención necesaria del Estado para operarlas (Costa, 1994). Para la década de 1960, una de las principales preocupaciones política era encontrar fuentes financieras para poder incrementar la cobertura



del acueducto y alcantarillado en el país, ya que se sabía que la falta de estos sistemas podía generar una crisis sanitaria. Para solucionar esta problemática el Ministerio de Salud de Brasil estableció, dentro de una de sus políticas, que se debían desarrollar formas más autónomas que fueran factibles económicamente y en donde la población pudiera participar en la construcción. Con este pensamiento se crearon diferentes normativas con las que fue posible incrementar la cobertura de los sistemas entre las décadas de 1970 y 1990 (de Sousa & Costa, 2016).

Una de las soluciones desarrolladas dentro de esta crisis sanitaria que vivía Brasil fue el sistema de alcantarillado condominial. Este sistema fue creado por el ingeniero José Carlos Melo en la década de 1980, él pensaba que la participación de los usuarios en el sistema era una práctica importante para el adecuado desarrollo de este. El ingeniero se inspiró en el hecho de que en esa época era muy común que en un vecindario, los habitantes pasaran por sus propiedades las tuberías del sistema ya que era un trazado mucho más económico (Mezzomo, 2019). Por esta razón, las dos características principales que diferencian el alcantarillado condominial con el convencional son: (1) existe una alta participación de los usuarios en la elección, desarrollo y mantenimiento del sistema y (2) el servicio se presta a cada manzana de vivienda y no a cada unidad, por esta razón, es posible que las tuberías de la red se encuentren en la acera o jardín del propietario.

El lugar en donde se implementó por primera vez este tipo de alcantarillado fue en Rio Grande del Norte y en Pernambuco, al tener resultados favorables en estas zonas, se decidió aplicarlo a Brasilia, Salvador, Recife, Parauapebas y Rio de Janeiro (Mezzomo, 2019). El alcantarillado condominial no solo ha tenido un gran alcance en Brasil, sino que hoy en día es usado en muchas ciudades de Perú y Bolivia; y es una alternativa incluida en las normativas de diseño de diferentes países.

3.2 Implementación del alcantarillado condominial

3.2.1 Caso de Brasil

Para el año 2019, el 54.1 % de la población de Brasil tenía acceso al sistema de alcantarillado, es decir, que casi 100 millones de brasileiros no cuentan con este servicio. Los mayores índices de cobertura son el sudeste del país con un 79.21% mientras que el noroeste tiene el 28.5% y por último, en el norte del país solo el 12.3% de la población cuenta con una red de alcantarillado (Trata Brasil, 2019). A partir de estos datos se puede observar que existe una gran desigualdad en Brasil y que el acceso a este recurso depende, en gran medida, de la localización de las viviendas en el país.

En Brasil, los sistemas condominiales han sido implementados desde la década de 1980, y se afirma que estos han ayudado a reducir hasta el 60% de los costos en comparación a un sistema convencional. Se estima que, de los 41,461 km de redes de alcantarillado en Brasil, 5,657 km son del tipo condominial, es decir, el 13 % (Melo, 1994).



Desde 1986 se encuentra dentro de la norma técnica brasilera el alcantarillado condominial. Al comparar los parámetros de diseño con respecto al alcantarillado convencional se tienen los siguientes cambios: diámetro mínimo de 100 mm, reducción en las dimensiones de los pozos de inspección, aumento en la distancia entre pozos, reducción de la profundidad mínima, recubrimiento de las tuberías, entre otros. Por lo tanto, con respecto a las condiciones técnicas implementadas para el diseño de la red es necesario cumplir con la siguiente normativa: NBR 9.649, NBR 9.160 y NBR 9.648 (Lampoglia & Rolim, 2006). Teniendo en cuenta que el éxito de este tipo de alcantarillado depende de la participación de la comunidad, aún no se ha desarrollado una normativa con respecto al procedimiento para el componente social, pero se debe asegurar que la comunidad firme los Términos de Adhesión y que todos los usuarios acepten las condiciones de este acuerdo. Sin embargo, este es un acuerdo informal que el usuario puede o no cumplir en cualquier momento. Es por esta razón que una de las mayores dificultades de este tipo de alcantarillado es que los usuarios no cumplen con el mantenimiento y las restricciones entregadas por la empresa.

A partir de la experiencia que se tiene en Brasil de los diferentes diseños realizados, se sabe que el costo de la red depende de la topografía, mano de obra, materiales utilizados, población, entre otros. No obstante, se estima que el costo de la red pública sea entre US\$ 30 y US\$ 40 por metro y de los ramales condominiales sea de US\$ 15 y US\$ 20. En el caso de Rio Grande del Norte se estimaron que los costos por conexión fueron de US\$ 263.04, los cuales se pueden distribuir de la siguiente forma: el ramal condominial US\$ 82.20, la red principal US\$ 90.42, el proyecto de movilización comunitaria US\$ 24.66 y el tratamiento US\$ 65.76. Se estima que el costo total por habitante que tuvo este sistema fue de US\$ 52.61 (Lampoglia & Rolim, 2006).

3.2.1.1 Brasilia

El distrito federal de Brasil está ubicado en el centro geográfico del país y se caracterizó por tener un rápido crecimiento de la población. En 1990, la ciudad contaba con tanques sépticos individuales, pero los lotes no eran lo suficientemente grandes como para absorber los efluentes y por esta razón se terminó descargando agua residual en el lago Paranoá. Para 1993, una de las grandes preocupaciones era los altos niveles de contaminación que tenía el lago y, por esta razón, se consideraron desarrollar sistemas de alcantarillado, sin embargo, se tenía una alta preocupación por los altos costos que esta solución representaría (Melo, 2005).

El Banco de Desarrollo Federal, el Banco Interamericano de Desarrollo y los gobiernos del distrito federal financiaron el sistema de alcantarillado condominial para Brasil y para los barrios periurbanos del área. Como resultado, se obtuvo que de 1993 a 2001 ya existían 188,000 conexiones de alcantarillado condominial (Melo, 2005).

Se afirma que el diseño de la red fue sencillo por tres diferentes razones. En primer lugar, la topografía de la ciudad es bastante uniforme y no existen pendientes muy empinadas. En



segundo lugar, el patrón de urbanización es muy organizado ya que la ciudad fue planificada. En tercer lugar, “la propuesta condominial se introdujo como resultado de una decisión central responsable” (Melo, 2005). Estos parámetros permitieron reducir la profundidad de excavación y los diámetros de las tuberías.

Con respecto a los costos del sistema de alcantarillado, se estimó que el costo de la red pública por metro es de US\$19, lo cual equivale al 13% de las cámaras y cajas de inspección, 19% en materiales y 68% en el tendido del terreno. Por otro lado, los costos del ramal condominial varían según su ubicación y si es cabecera o asentamiento periurbano, por ejemplo, para la capital se tiene un costo en el patio posterior de US\$123 y en la acera US\$256, mientras que en el asentamiento periurbano en el patio posterior es de US\$47, en la acera US\$84 (Melo, 2005).

Con respecto al funcionamiento del sistema, se afirma que existieron más taponamientos en la red pública que en la red condominial, lo cual se puede deber al continuo mantenimiento que realiza la comunidad a las redes condominiales o que la red pública es más propensa de taponamientos. Adicionalmente, en este diseño no se tuvieron grandes dificultades en los aspectos sociales ya que desde un principio la comunidad estuvo de acuerdo en la instalación del alcantarillado y se comprometió con su mantenimiento.

3.2.1.2 Salvador de Bahía

Salvador es la capital del Estado de Bahía, siendo así la ciudad más grande del noreste de Brasil. Se caracteriza porque la mayoría de la población vive en asentamientos periurbanos donde no existe un sistema de alcantarillado, sino que las aguas residuales son descargadas en ríos o fuentes de agua cercana. Estas actividades empezaron a generar afectaciones en el ecosistema de Bahía de Todos los Santos, a principios de la década de 1990, para disminuir estos efectos se decidió realizar una gran inversión en el sistema de alcantarillado de estos barrios (Melo, 2005).

En 1997 se empezó la construcción del sistema condominial, no obstante, no se pensó que se tendrían múltiples dificultades relacionadas con la topografía, el estilo de urbanización y los ingresos económicos de las poblaciones. Para poder solucionar estos problemas fue necesario: implementar redes de alcantarillado presurizadas, ubicar las tuberías en zonas no comunes (sobre el nivel del suelo y cruzando las casas) y usar tuberías verticales de caída (Melo, 2005).

Salvador representó un gran reto de diseño de este sistema de alcantarillado, ya que no se contaba con las condiciones topográficas necesarias para aplicar lo que se encontraba en la normativa y lo que había sido utilizado en ciudades anteriores. Uno de los aspectos que no fue respetado fue la ubicación de los ramales condominiales, porque se considera que la comunidad debe elegir por donde desean que se encuentra la tubería, por ejemplo, en la parte delantera o trasera de sus casas o en la calle principal. Sin embargo, para este diseño solo existió un trazado y no contaba con la participación de la comunidad (Melo, 2005). Además, en algunos casos las



tuberías tenían que pasar por dentro de las casas para que se lograra un buen funcionamiento del sistema.

Los retos del alcantarillado no solo estuvieron relacionados con el diseño, sino que también con las reuniones sociales y los compromisos de la comunidad. En primer lugar, la mayoría de las viviendas ya contaban con instalaciones sanitarias que descargaban en el sistema de aguas lluvias, lo cual iba en contra de las normas porque esto descargaba en la Bahía de todos los Santos. Sin embargo, para la comunidad este sistema que tenían no generaba ninguna afectación para ellos y era completamente gratuito, por lo tanto, la construcción de un sistema de alcantarillado condominial no les generaba ninguna ventaja adicional. Además, la implementación de este nuevo sistema generaría costos adicionales a la población porque ellos tendrían que hacerse cargo de las calles principales dañadas durante la construcción y tendrían que pagar, mensualmente, una cuota por el servicio de alcantarillado. Otro reto social que se tenía era que la comunidad había decidido no pagar la tarifa total de alcantarillado, sino que esta tenía un descuento, con la condición de que la comunidad realizaría el mantenimiento de los ramales condominiales, no obstante, en la práctica no asumieron esta responsabilidad lo cual les generó problemas de inundaciones y taponamientos del alcantarillado. Teniendo en cuenta que la población consideraba que el alcantarillado condominial no le generaría ningún tipo de ventajas, sino que por el contrario tendrían que invertir económicamente en este, para el 2005 solamente el 30% de la comunidad hacía uso de este tipo de alcantarillado (Melo, 2005).

Debido a las costumbres y el diseño que se realizó en esta zona se tuvieron tres problemas operativos en la red condominial. En primer lugar, la red de agua residual se conectó en algunos lugares a la red de agua lluvias y esto generó sobrecarga en el sistema durante las épocas de lluvia y la sedimentación de materiales pesados dentro de las tuberías. En segundo lugar, al no contar con toda la población con la que se realizó el diseño, sino solo con un 30% de esta, se tenían caudales en las tuberías que eran mucho más bajos que los diseñados y estos no permitían el transporte de los residuos sólidos. En tercer lugar, se arrojaban artículos sólidos en las instalaciones, lo cual generaba taponamientos en el sistema (Melo, 2005).

3.2.1.3 Parauapebas

En esta ciudad se empezaron a hacer inversiones en el sistema de agua y alcantarillado para finales de la década de 1970. Sin embargo, el rápido crecimiento de Parauapebas generó que para la década de 1990, la mayoría de la población no contara con agua potable de calidad ni con redes de alcantarillado. Para poder solucionar esta problemática, en 1993, el Banco Mundial le realizó un préstamo a Brasil (Melo, 2005). Sin embargo, este dinero no alcanzaba para realizar un sistema convencional de alcantarillado y de acueducto, por lo tanto, se empezaron a desarrollar estudios de factibilidad para diseñar el sistema condominial.



Como resultado del estudio de factibilidad se obtuvo que al implementar el sistema condominial para el alcantarillado se tendría un ahorro del 40% con respecto al sistema convencional (Melo, 2005). Esta diferencia se debe a la disminución de los costos de excavación, a la disminución del diámetro de las tuberías y las cámaras de inspección. En la Tabla 5 se puede observar la comparación de costos realizada para este proyecto (la coma es el separador de miles).

Tabla 5 Comparación costos proyecto Parauapebas. Tomado de: (Melo,2005)

Actividad	Diseño convencional		Diseño condominial	
	Costo total (US\$)	Costo por conexión (US\$)	Costo total (US\$)	Costo por conexión (US\$)
Excavación	263,000	39	186,000	28
Cámaras de inspección	181,000	27	85,000	13
Tuberías	185,000	28	102,000	15
Total (US\$)	629,000	94	373,000	56

3.2.2 Caso de Perú

En Perú, existe un gran déficit de los sistemas de saneamiento. Se estimaba que para antes del 2004 el 29% de la población no tenía acceso a este servicio. Por esta razón, desde el 2005 el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento decidió incorporar dentro de las posibilidades de diseño de alcantarillado el condominial. En Lima, el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal) decidió implementar este tipo de alcantarillado para las zonas urbano- marginales (Lampoglia & Rolim, 2006).

En los últimos años ha existido un gran crecimiento en las áreas periurbanas de Lima en donde el acceso al servicio de alcantarillado es muy costoso y difícil. Por esta razón, Sedapal decidió implementar una alternativa no convencional en estas áreas para poder incrementar la calidad de vida de los habitantes y disminuir los costos de la inversión.

Dentro de los parámetros de diseño más importantes para el sistema se tiene que el periodo de diseño es de 15 años, el diámetro mínimo de la tubería de los ramales condominiales es de 110 mm, mientras que para la red principal es de 150 mm (Lampoglia & Rolim, 2006). Además, la profundidad mínima del ramal es de 0.5 m y es obligatorio implementar una caja desgrasadora.



Tabla 6 Comparación de costos en alcantarillado de Perú. Tomado de: (Lampoglia & Rolim, 2006)

Ubicación	Proyecto	Costo por lote (US\$)		Ahorro (%)
		Sistema Convencional	Sistema Condominial	
Cono Sur	Ramiro Priale	594.27	408.04	31.3
Cono Norte	Virgen del Pilar	576.31	325.30	43.6
Cono Centro	Residencial Kawachi	430.07	242.05	43.7
Cono Centro	Lomas Panorama	668.20	408.29	38.9
Cono Sur	Los Girasoles	418.15	289.85	30.7
Cono Norte	Virgen del Rosario	465.61	318.92	31.5
	Promedio	537.77	333.22	38.0

Sedapal realizó una comparación económica entre los costos de la obra del alcantarillado condominial (implementado) y el alcantarillado convencional (proyectado). En la Tabla 6 se muestran los resultados (la coma es el separador de miles).

Los proyectos desarrollados comenzaron su funcionamiento en el 2004 y se ha mostrado una notable reducción de los insectos, roedores y animales, lo cual mejora la calidad de vida de las comunidades. Además, se considera que se han reportado pocos incidentes de atoro en la red.

3.2.3 Caso de Bolivia

En Bolivia, se realizó una prueba piloto en la ciudad de El Alto, la cual se caracterizaba por tener una población cercana a los 650,000 habitantes y presentaba un índice de pobreza del 72.9%. En 1998, el 78.2% de la población no contaba con servicio de saneamiento, esto se encuentra relacionado con la alta tasa de crecimiento que se presentó en estos años y que no estaba dentro de los planes de ordenamiento. Como solución a esta problemática en el 2001 la empresa de Aguas del Illimani decidió implementar el alcantarillado condominial para solucionar las problemáticas que se tenían por las aguas residuales (Lampoglia & Rolim, 2006).

Para poder realizar la instalación del alcantarillado condominial fue necesario realizar múltiples reuniones comunitarias en las que los usuarios seleccionaban la alternativa de sistema que más les beneficiaba. Además, en estas reuniones se hablaba de las tarifas que tenían que pagar, de los cronogramas de las obras, de las normas, del procedimiento para la construcción y mantenimiento, entre otros.



Dentro de los parámetros de diseño más importantes para el sistema se tenía que el periodo de diseño era de 20 años, donde se tenía una densidad poblacional de 5 habitantes/vivienda, el diámetro de las tuberías de los ramales y de la red principal fue mínimo de 100 mm y la profundidad mínima para el ramal condominial era de 0.45 m y del principal 0.85 m (Lampoglia & Rolim, 2006). Por otro lado, la empresa de aguas quedó encargada de realizar la operación y el mantenimiento de la red pública y en los ramales condominiales quedaron encargados los propietarios.

En esta investigación se realizó una comparación de los costos de construcción del sistema condominial y el sistema convencional. Estimaron que el condominial costaba entre US\$ 23 y US\$ 32 por habitante, mientras que el sistema convencional era de US\$ 59. Es importante mencionar que para el alcantarillado condominial se estimaba que existía un costo de intervención social entre US\$ 17.2 y US\$ 37.8 por lote (Lampoglia & Rolim, 2006).

Ahora bien, después de realizar la instalación del sistema de alcantarillado, la empresa decidió hacer una encuesta de satisfacción, como resultados obtuvieron que solo fue necesario hacer 0.5 intervenciones al año por kilómetro de red, es decir, no existieron casi atoros o taponamientos en la red principal. No obstante, en la red condominial si existieron múltiples dificultades en la operación, por ejemplo, ausencia de cajas trampa de grasa, obstrucción en los ramales, descuido en las conexiones, robos o daños de tapas, problemas entre vecinos, falta de limpieza y mantenimiento, malos olores, entre otros (Lampoglia & Rolim, 2006). Se cree que las principales causas de estos problemas fue que la población no estaba comprometida en hacer un mantenimiento periódico del sistema y que existían conexiones incorrectas de agua lluvia al sistema de alcantarillado y esto generaba sobrecarga y taponamiento.

3.3 Comparación del sistema condominial y convencional

Existen múltiples fuentes bibliográficas en las que se realiza una comparación del sistema condominial y el convencional, en esta sección se resumirá la información encontrada. En primer lugar, se mencionarán las ventajas y desventajas de cada sistema y se realizará una comparación económica, teniendo en cuenta los costos de construcción y mantenimiento.

3.3.1 Ventajas y Desventajas

3.3.1.1 Ventajas

Sistema condominial:

Las principales ventajas del alcantarillado condominial son (Melo,1994), (Ramos, 2018) y (Garrido, 2008):



- Bajos costos en la construcción de los colectores ya que su diámetro de diseño es menor que en el sistema convencional.
- Mayor participación de los usuarios porque estos están involucrados en la selección, construcción y mantenimiento del sistema.
- Menor longitud de las tuberías porque estas tienen que recorrer menor cantidad de calles.
- Bajos costos en la excavación porque las profundidades de estos sistemas son menores.
- Las tuberías de los ramales condominiales son menores, lo que disminuye los costos de construcción.

Sistema convencional

Las ventajas del alcantarillado convencional son (Melo,1994), (Ramos, 2018) y (Garrido, 2008):

- Se pueden aplicar en zonas de densidad poblacional alta.
- No requiere de trabajos preliminares y permanente con la comunidad como el alcantarillado condominial.
- El cambio de la tubería no se tiene que realizar tan seguido ya que al estar a una mayor profundidad tiene una menor probabilidad de rotura.
- Tienen mayor capacidad de descarga y de conducción porque se implementa tubería de mayor diámetro.
- Tiene menor probabilidades de obstrucciones porque los tramos son rectos y tienen un mayor diámetro.
- El mantenimiento es realizado por la empresa prestadora del servicio, lo cual permite que estos se hagan periódicamente y que no existan problemas en la comunidad.

3.3.1.2 Desventajas

Sistema condominial

Aunque este sistema tiene múltiples beneficios, pueden surgir las siguientes dificultades (Melo,1994), (Ramos, 2018) y (Garrido, 2008):

- La tubería podría sufrir roturas en zonas donde transiten vehículos porque la profundidad de esta es muy poca.
- Pueden existir conflictos entre la comunidad por no llegar a un acuerdo de quien es el responsable de hacer el mantenimiento.
- Las conexiones de la red de aguas lluvias puede generar sobrecargas y malos olores en el sistema.



- Es necesario realizar múltiples capacitaciones a la comunidad para que la educación sanitaria sea la adecuada para el funcionamiento del proyecto.
- Se pueden generar obstrucciones en la red por los pequeños diámetros usados y por la presencia de residuos sólidos urbanos.

Sistema convencional

Las desventajas del alcantarillado convencional son (Melo, 1994), (Ramos, 2018) y (Garrido, 2008):

- Los costos del material y de construcción son elevados porque se tienen unos diámetros y profundidades de excavación mayores.
- Las cámaras de inspección tienen una mayor profundidad y un mayor diámetro, lo cual también incrementa los costos de construcción.
- No hay participación de los usuarios en la red.
- La flexibilidad en el trazado es poca, ya que los tramos tienen que ser rectos y con largas longitudes.

3.3.2 Comparación económica

3.3.2.1 Costos de construcción

Para realizar la comparación económica se buscaron fuentes bibliográficas en los dos países en donde más se implementan los alcantarillados condominiales, Brasil y Perú. A continuación, se presenta la comparación de costos realizada en diferentes trabajos.

En la investigación hecha por Mezzomo (2019), se realiza el diseño del alcantarillado condominial y convencional para dos regiones del municipio de Camaquã del estado de Rio Grande del Sur en Brasil. El primer escenario tiene un elevado gradiente topográfico y el escenario dos es totalmente lo opuesto. Para realizar el diseño de ambos escenarios, ella implementó el Software SANCAD, el cual sirve para determinar los diámetros y las pendientes de cada una de las tuberías. Después de realizar el diseño, Mezzomo (2019) estima los costos de los sistemas, teniendo en cuenta: longitud de la tubería, excavación, remoción del pavimento, repavimentación, estructuras complementarias, entre otros. En la Tabla 7 se pueden observar los costos obtenidos en cada uno de los escenarios (la coma es el separador de miles).



Tabla 7 Comparación de costos del sistema convencional y condominial. Tomado de (Mezzomo, 2019)

		Sistema convencional		Sistema condominial	
		Red principal	Coletores prediales	Red principal	Ramales condominiales
Escenario 1	Costo total (R\$)	643,050	334,895	208,944	518,627
		977,946		727,572	
Escenario 2	Costo total (R\$)	792,910	300,110	196,352	559,048
		1'093,021		755,401	

A partir de la Tabla 7 se puede analizar que la diferencia de los costos totales para el escenario 1 de ambos sistemas es de, aproximadamente, 26%. Por otro lado, al comparar los costos de las redes principales y las redes de colección, se puede observar que en el sistema condominial los ramales son 35% más costos que los colectores prediales, no obstante, la red principal en el sistema convencional es 67% más costosa que en el sistema condominial. Por lo tanto, el mayor costo para la red convencional en el escenario uno está relacionado con la red principal del sistema.

Al analizar el escenario 2, el sistema convencional es 31% más costoso que el sistema condominial. Por lo tanto, las características topográficas afectan directamente en los costos de la red, ya que al tener una menor inclinación es necesario realizar una mayor excavación y un mayor recubrimiento de la tubería.

Al comparar los costos de cada uno de los procesos en las etapas, se puede analizar que para la primera etapa la mayor diferencia económica se encuentra en las estructuras complementarias, es decir, cámaras de inspección y de caída. Lo anterior se debe a que en la normativa del sistema convencional la distancia entre las cámaras es inferior que el sistema condominial, por lo tanto, se incrementa la frecuencia de estas estructuras y por ende sus costos. Para el segundo escenario la mayor diferencia se tiene en el recubrimiento de la tubería ya que para este escenario se necesitó una mayor excavación del terreno (Mezzomo, 2019).

Ramos (2018) también realizó una comparación económica entre las dos alternativas de redes de alcantarillado. En esta investigación el caso de estudio fue el centro poblado de Carhuacatac, en el departamento de Junin, Perú. Para los cálculos hidráulicos se implementó Microsoft Excel y para los planos y trazar la red de usó AutoCAD Civil. Dentro de cada presupuesto se incluyen los movimientos de tierra, los materiales, trabajo preliminar, entre otros. En la Tabla 8 se realiza



la comparación de los costos totales de cada actividad en soles peruanos (la coma es el separador de miles).

Tabla 8 Costos por actividad y por alcantarillado. Tomado de (Ramos, 2018)

Actividad		Costo (S/.)	
		Diseño condominial	Diseño convencional
Obras provisionales		12,118	12,118
Buzón de inspección		72,451	141,613
Red de alcantarillado	Trabajos preliminares	6,582	0
	Movimientos de tierra	274,447	314,387
	Suministro e instalación de tubería	406,519	351,269
Red de conexiones domiciliarias	Trabajos preliminares	5,355	7,759
	Movimientos de tierra	202,059	491,545
	Suministro e instalación de tubería	250,445	500,178
Costo Directo (S/.)		1'229,981	1'823,847
Costo Total (S/.)		1'814,222	2'690,175

La diferencia entre el costo directo y el costo total es que este último incluye un 10% de utilidad, 15% de gastos generales y un 18% del Impuesto General a las Ventas (IGV). Adicionalmente, se puede analizar que el alcantarillado condominial es, aproximadamente, 32% más económico que el alcantarillado convencional. La mayor diferencia de costos se tiene en los movimientos de tierra tanto para la red de alcantarillado como para la red de conexiones domiciliarias. Adicionalmente, Ramos (2018) concluye que el alcantarillado condominial es mejor en los siguientes aspectos que la red convencional: menor uso de mano de obra calificada, menores diámetros de tubería y menor movimiento de tierra. Adicionalmente, este autor determinó los costos de manutención de ambos sistemas, los costos que obtuvo se pueden ver en la Tabla 9.



Tabla 9 Costos de manutención. Tomado de (Ramos, 2018)

Actividad	Costo (S/.)	
	Diseño condominial	Diseño convencional
Redes	2,025.33	6,132.26
Conexiones domiciliarias	1,373.45	1,209.96
Costo Directo (S/.)	3,398.78	7,505.71
Costo Total (S/.)	5,013.20	11,070.92

En la se puede observar que el costo de manutención del sistema condominial es más bajo en un 54% que el sistema convencional para el centro poblado de Carhuacatac.

Adicionalmente, el autor también realizó una evaluación social de ambos sistemas de alcantarillado para así poder determinar el costo promedio del alcantarillado por habitante servido al finalizar el proyecto. Para poder determinar este parámetro implementó el ratio costo efectividad (CE), el cual es una división entre el valor actual de los costos sociales (VAC) y el indicador de efectividad (IE). El resultado de la evaluación social del sistema condominial fue un CE de S./ 1,541.20 por poblador beneficiado y el CE del sistema convencional es S./2,309.51 por poblador beneficiado (Ramos, 2018). De acuerdo con este indicador social, el autor analizó que la mejor alternativa es el sistema condominial porque este tiene el menor ratio costo efectividad. En conclusión, en esta investigación se pudo observar que el sistema condominial es más económico en términos de construcción y mantenimiento, no obstante, es importante incluir que el sistema convencional que se está comparando no es optimizado y que el costo de mantenimiento del sistema condominial es menor que el sistema convencional porque la comunidad está participando en este proceso. No obstante, en diferentes fuentes bibliográficas se confirma que la comunidad no se compromete a realizar el mantenimiento y esto genera que la empresa prestadora del servicio tenga que hacerse responsable de mantenimiento y esto incrementa los costos. En la siguiente sección se pueden observar los costos de mantenimiento que tuvo que asumir la empresa prestadora del servicio en ciudades de Brasil.

3.3.2.2 Costos de mantenimiento

Ahora bien, uno de los objetivos del alcantarillado condominial es reducir los costos de construcción, por esta razón lo encontrado en la sección anterior se encuentra relacionado con la teoría propuesta por Melo (1994). Esta reducción de costos se debe a una menor longitud de la tubería, menor diámetro de tubería y de cámaras de inspección, menores profundidades de excavación, entre otros. No obstante, en este trabajo también se quiere hacer una investigación



de los costos de mantenimiento del sistema, por esta razón, en esta parte se mostrarán fuentes bibliográficas en donde se comparen estos costos.

Rocha (2017) realiza una comparación de los costos del mantenimiento del alcantarillado condominial y convencional en el barrio Santo Reis, en la ciudad de Natal, en Brasil. Su investigación partió del hecho que en los sistemas condominiales existe un mayor número de solicitudes de desobstrucciones que en los convencionales. Además, en esta investigación no solo se tiene una comparación económica, sino que también se describen las principales causas que generaban estas obstrucciones en el sistema, gracias a una encuesta realizada en el barrio.

En primer lugar, en el 61% de las casas se tenía una conexión irregular de agua lluvia al sistema condominial, lo cual genera sobrecarga del sistema, taponamiento y malos olores. Lo más controversial es que el 59% de las casas afirmaron que no tenían conocimiento de que esta actividad no se podía hacer, por lo tanto, se concluye que no hubo una buena comunicación entre la empresa y los usuarios. En segundo lugar, el 77% de las casas no contaba con una trampa de grasa y las que sí tenían este accesorio no realizaban la limpieza mensualmente, lo cual afecta el funcionamiento de estas y genera acumulación de grasas y aceite en las tuberías. En tercer lugar, el 70% de los entrevistados no realiza la desobstrucción de la tubería porque prefieren mandar una solicitud a la empresa para que esta se haga cargo (Rocha, 2017).

Tabla 10 Costo mantenimiento Santo Reis. Tomado de (Rocha, 2017)

	Costo de Mantenimiento por conexión (R\$)	Costo de desobstrucción conexión (R\$)	Costo total por conexión(R\$)
Alcantarillado condominial	94.55	18.25	112.80
Alcantarillado convencional	41.89	46.82	88.71

A partir de la Tabla 10 (el punto es el separador decimal), se puede analizar que el costo de mantenimiento es 56% más económico en el alcantarillado convencional que en el condominial. Estos valores fueron obtenidos de los reportes generados en los servicios de mantenimiento para el año 2014. Con respecto a los costos de desobstrucciones, se tiene que el alcantarillado convencional es 61% más costoso que el condominial, esto se debe a que el número de obstrucciones para los alcantarillados convencionales (55) es mucho menor que para los condominiales (136), por lo que al dividir los costos en el número de conexiones se tiene un mayor costo para el convencional. No obstante, el costo total de mantenimiento y desobstrucciones para el alcantarillado condominial es 21% más costosos que el convencional.



Otra investigación en la que se realiza una comparación de los costos del mantenimiento de estos tipos de alcantarillado es la de Silva (2018). Para realizar esta comparación, determinó los costos de desobstrucción y de mantenimiento en los alcantarillados convencionales y condominiales para los 25 barrios de la ciudad de Natal, en Brasil. Al sumar los costos de cada uno de los barrios se obtuvo la Tabla 11 (la coma es el separador de miles).

Tabla 11 Costos de mantenimiento de los barrios en Natal. Tomado y adaptado de (Silva, 2018)

	Costo de Mantenimiento total (R\$)	Costo de desobstrucción total (R\$)	Costo total (R\$)
Alcantarillado condominial	418,145	575,474	993,619
Alcantarillado convencional	316,756	521,577	838,333

Los costos totales anuales de mantenimiento en Natal son de R\$1'831,953, de los cuales 45.76% es del alcantarillado convencional y 54.24% del condominial. Como conclusión Silva (2018) menciona que técnico-económicamente el alcantarillado condominial no es viable ya que el mantenimiento no lo está realizando la comunidad, sino la compañía de aguas y este representa un gran costo. Por otro lado, si se tiene en cuenta que el periodo de diseño de este tipo de alcantarillado es entre 15 y 30 años, esto representaría a largo plazo un colapso en el sistema y unos costos más elevados que los obtenidos en el alcantarillado convencional (Silva, 2018).

4. CASO DE ESTUDIO

4.1 Contexto

4.1.1 Ubicación y descripción del proyecto

Ciudad Verde es un macroproyecto realizado por una de las constructoras más grandes de Colombia, Amarilo. Este proyecto se encuentra ubicado en el municipio de Soacha, departamento de Cundinamarca, al norte del casco urbano del municipio y tiene un área de 328 hectáreas en las cuales hay viviendas unifamiliar, multifamiliar, comercio e instituciones. Amarilo no solo realizó la construcción de viviendas, sino que además diseño y construyó las redes de alcantarillado y acueducto. En la Figura 10 se puede observar la ubicación del macroproyecto en Soacha y en Colombia.

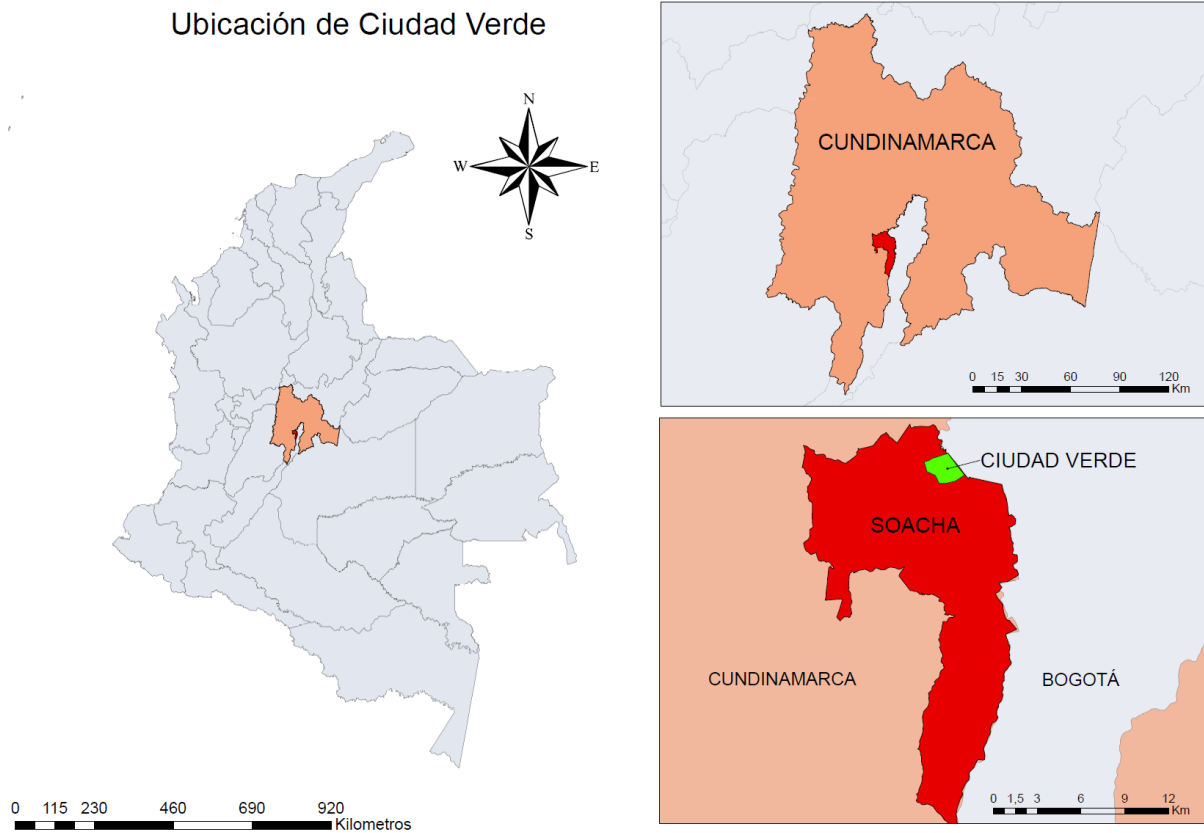


Figura 10 Ubicación de Soacha y Ciudad Verde en Colombia

La construcción de Ciudad Verde se dividió en siete etapas que empezaron a ser construida desde el 2010 y se terminaron en el 2016. Para cada una de las etapas se cuenta con los informes entregados por Amarilo y de algunas etapas se tiene la información de las memorias de cálculo. En la Figura 11 se pueden observar las siete etapas urbanísticas del proyecto.

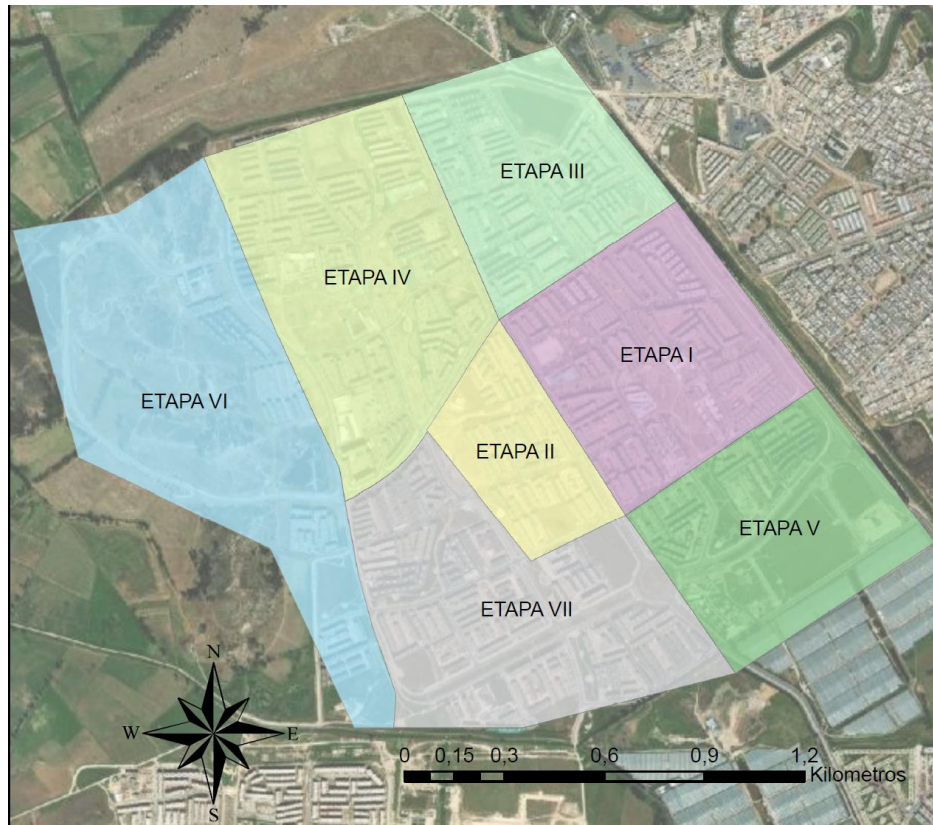


Figura 11 División de las etapas en Ciudad Verde

Las 328 hectáreas están divididas así: 57 Ha de zonas verdes, 22 Ha de equipamientos, 139 Ha de vivienda y 7 Ha de comercio. En la Figura 12 se puede observar la distribución del uso de la tierra en Ciudad Verde, las zonas que se encuentran en negro son las zonas verdes del macroproyecto.



Figura 12 Uso de la tierra. Tomado de (Amarilo, 2020)

Se estima que en Ciudad Verde habrá una población de 240.000 habitantes en 52.000 viviendas, es decir, se estima que habrá 4.5 habitantes por vivienda. Estos fueron los valores utilizados para los cálculos de los caudales y el diseño de los sistemas.

4.1.2 Normativa para el diseño

Para el diseño del sistema de alcantarillado la constructora, Amarilo, implementó la siguiente normativa colombiana que estaba vigente en la época de desarrollo del proyecto. En la Tabla 12 se describen las normas más importantes.

Tabla 12 Normatividad aplicada para el diseño de Ciudad Verde. Tomado de (Amarilo,2020)

CÓDIGO	TÍTULO DE LA NORMA	FECHA
NS-085	Criterios de diseño de sistemas de alcantarillado	03/03/2005
NS-090	Protección de tuberías en redes de acueducto y alcantarillado	11/08/2006
RAS 2000	Sección II, Título D, sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales	11/2000



La normativa usada en la Tabla 12 es diferente a la mencionadas en la sección de ecuaciones de diseño de este trabajo, ya que el diseño de Ciudad Verde se realizó antes del 2017, es decir, la Resolución 0330 no había sido creada en ese momento. No obstante, entre el RAS 2000 y la Resolución 0330 no hay mayor diferencia. En la Tabla 13 se realiza una comparación de los parámetros de ambas normativas.

Tabla 13 Comparación parámetros de diseño

Parámetro	Resolución 0330 del 2017	Normativa usada en Ciudad Verde
Trazado	En vías, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la calzada	En vías, aproximadamente $\frac{1}{4}$ de la calzada
Profundidad mínima a la cota clave	0.75 m vías peatonales o zonas verdes 1.20 m a vías vehiculares	0.75 m en aceras o zonas verdes 1.20 m en cruces y vías
Diámetro interno real mínimo	170 mm para poblaciones >2500 140 mm para poblaciones ≤ 2500	200 mm
Esfuerzo cortante	1.0 Pa	1.2 pa
Velocidad mínima	N.A.	N.A.
Velocidad máxima	5 m/s- 10 m/s	6 m/s
Relación de llenado	85%	90%

4.2 Alcantarillado en Ciudad Verde

En los informes realizados por Amarillo sobre la red de alcantarillado de Ciudad Verde se menciona que los cálculos del diseño de la red se hicieron en base a los planos urbanísticos y levantamientos topográficos realizados por la constructora. Para los cálculos del caudal no incluyeron las áreas correspondientes a canales, pondajes, zonas verdes y parques porque estas no aportan al sistema, según su uso.



Para estimar el caudal de diseño se implementó la curva de caudales unitarios que se encuentra en la normativa NS-085. La Figura 13 permite calcular el caudal dependiendo la densidad de población que se tenga. No obstante, para las Etapas I, II, III, IV, V, VII se asumió que la densidad de población siempre era mayor a 750 Hab/Ha. Las densidades de diseño se calcularon por cada colector, teniendo en cuenta la cantidad de habitantes aguas arriba que descargan a ese colector y el área total de drenaje para ese tramo.

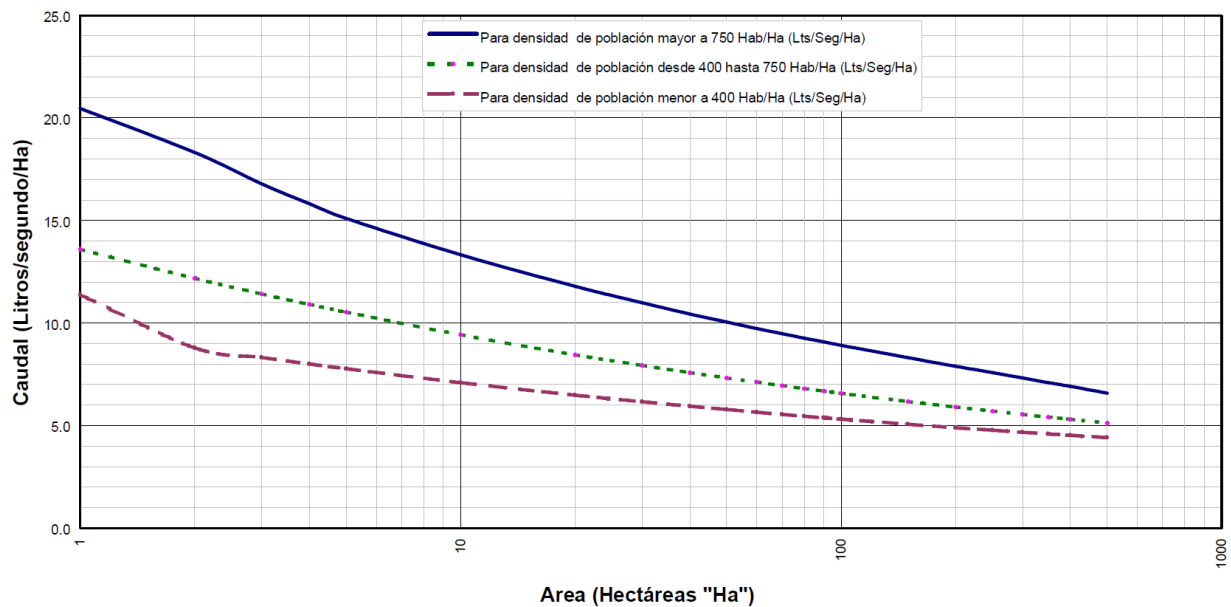


Figura 13 Caudal Unitario. Tomado de NS-085 (2009)

En la Figura 14 se pueden observar los diámetros de cada una de las tuberías del alcantarillado convencional que fue diseñado por Amarilo y que está siendo actualmente implementado en Ciudad Verde.

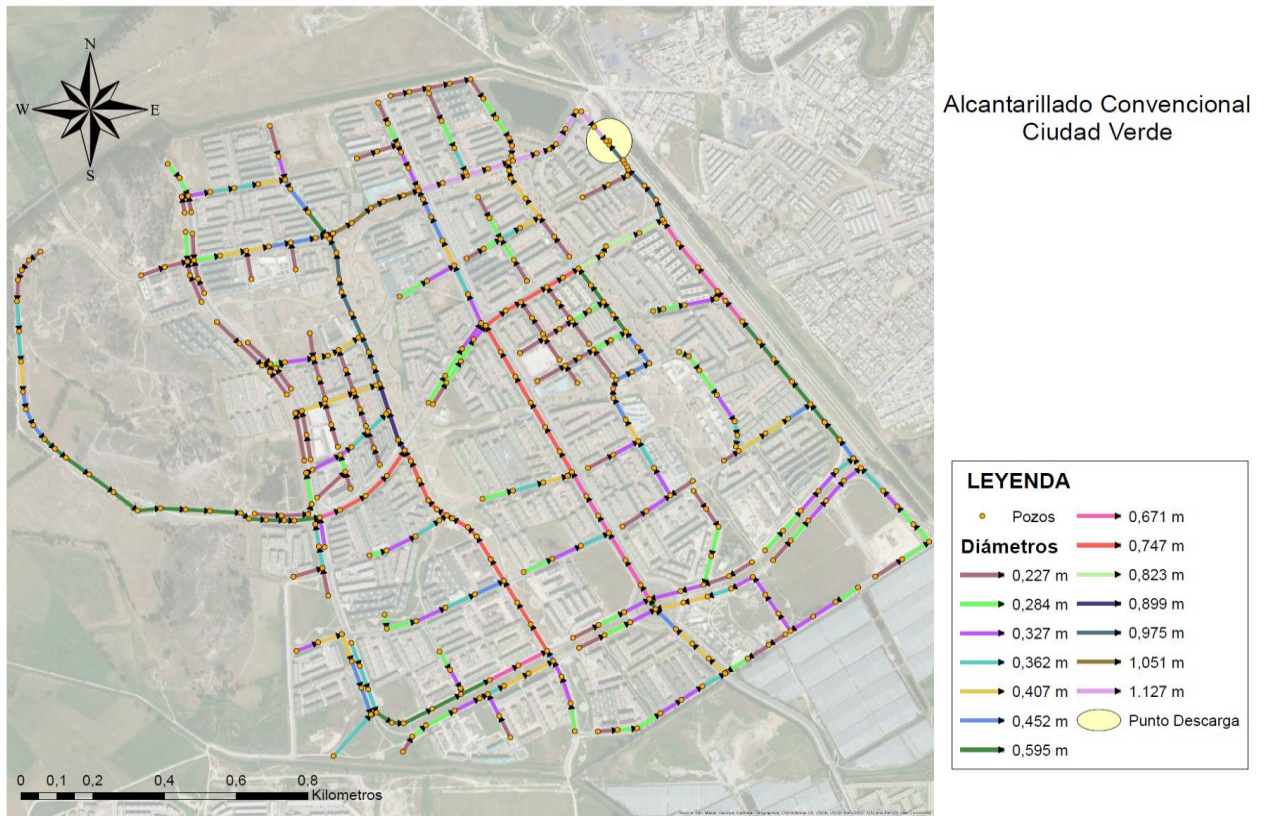


Figura 14 Alcantarillado Convencional en Ciudad Verde, diseñado por Amarilo.

En la Figura 15 se puede observar la frecuencia de los diámetros obtenidos en el diseño realizado por la constructora para Ciudad Verde. Es evidente que el de mayor frecuencia es el menor diámetro posible, es decir, 0,227 m. Por otro lado, el diámetro con menor frecuencia es el de 0,82 m. Además, se puede observar que existen tuberías de diámetros mayores a 1 metro, las cuales se encargan de recolectar el agua residual de todo el macroproyecto y transportarlas al punto de descarga, tal y como se ve en la Figura 14. En el Anexo 1 se encuentra el diseño completo de las tuberías de la red, en este se incluye la longitud, pendiente, relación de llenado, velocidad, esfuerzo cortante y la cota clave de la tubería de inicio y fin de cada tramo.

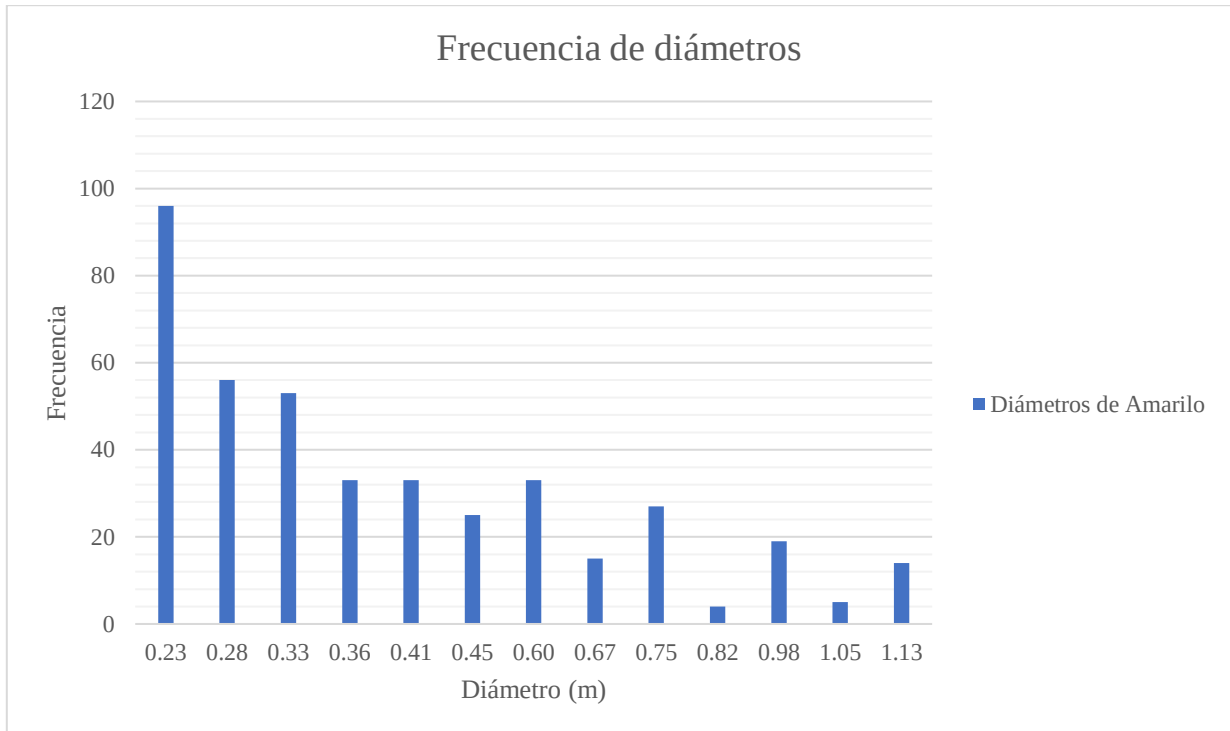


Figura 15 Frecuencia de diámetros del diseño de Amarilo

En la Figura 16, se puede observar el esfuerzo cortante de las tuberías diseñadas por Amarilo. Se decidió limitar el rango de este parámetro hasta 7.5 Pa para que se pudieran apreciar los valores que eran inferiores al esfuerzo cortante mínimo permitido en la normativa (1.2 Pa), sin embargo, para este diseño se tiene un esfuerzo cortante máximo de 32 Pa. Por otro lado, existen tramos de alcantarillado en los que no se cumple con la restricción del esfuerzo cortante mínimo ya que hay valores de 0.75 Pa y 1.01 Pa. Para poder realizar una comparación más detallada entre el diseño optimizado que se realizará y los resultados obtenidos por Amarilo se decidió implementar el esfuerzo cortante mínimo que se obtuvo en este diseño como una de las restricciones hidráulicas en el Software de UTOPIA.

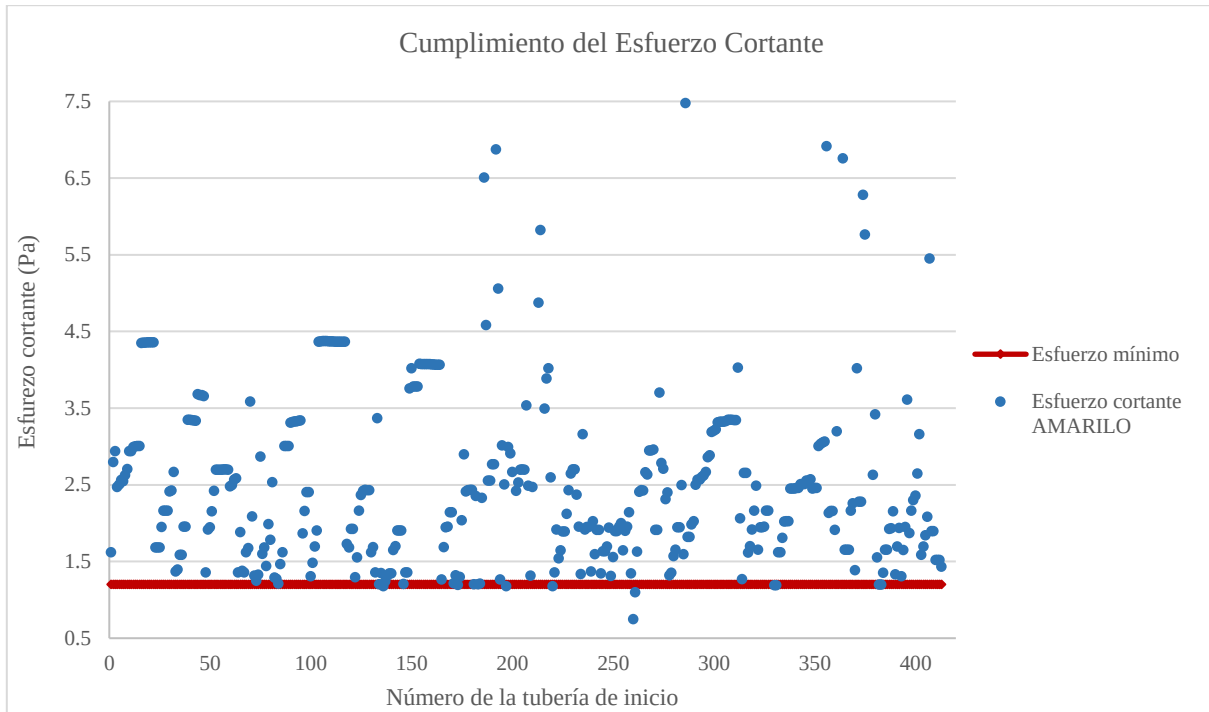


Figura 16 Esfuerzo cortante para cada tramo de tubería, diseño de Amarillo.

En la Figura 17 se encuentra la profundidad de excavación en cada uno de los tramos del sistema de alcantarillado, además, se tienen los valores de profundidad mínima (1.0 m) y profundidad máxima (5 m) para así poder determinar si el diseño cumple con estos límites. Se puede observar que no se cumple ni con la profundidad máxima ni con la mínima ya que se tienen valores por fuera de este rango. En primer lugar, la profundidad mínima que se obtuvo en el diseño fue de 0.82 m, lo cual incumple con lo establecido en la norma ya que este tramo de tubería se encuentra en una vía principal, por lo cual, su profundidad mínima debería ser de 1.0 m. En la norma colombiana se menciona que si se implementan profundidades menores a la establecida, es necesario hacer ajustes estructurales y geotécnicos para que así se evite la ruptura de la tubería.

Por otro lado, hay múltiples tuberías que sobrepasan la profundidad máxima recomendada en la normativa, en el diseño el valor máximo de profundidad que se obtuvo fue de 11.72 m. No obstante, en la norma colombiana se explica que la profundidad máxima depende de múltiples parámetros, ejemplo, tipo de suelo, equipos, métodos de excavación, entre otros; por esta razón, se puede tener una profundidad mayor a 5.0 m con tal de garantizar los requerimientos geotécnicos de cimentación. Para poder realizar una comparación más detallada entre el diseño optimizado que se realizará y los resultados obtenidos por Amarillo se decidieron implementar los valores de profundidad mínima y máxima con los que se realizó el diseño de Amarillo.

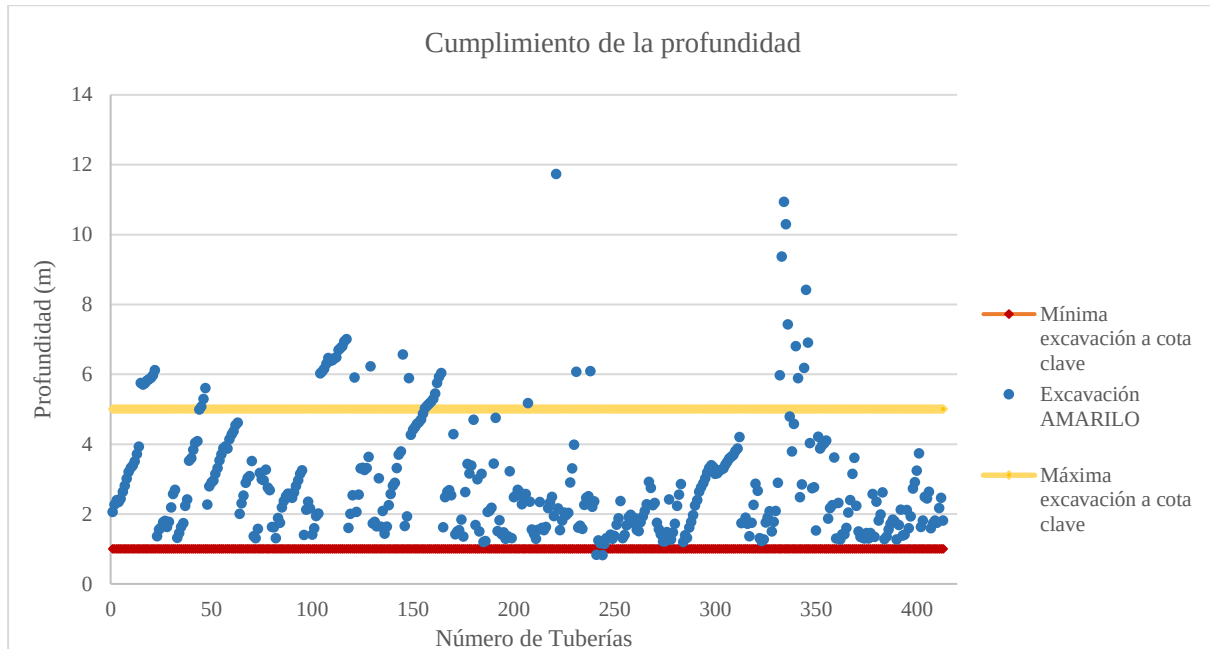


Figura 17 Profundidad de excavación del diseño de Amarilo

Después de realizar el análisis del diseño de Ciudad Verde, se decidió determinar el costo del sistema de alcantarillado que fue implementado en este caso de estudio, a partir de la ecuación de Navarro (2009) (Ecuación 14). Como resultado se obtuvo el costo que se encuentra en la Tabla 14. (La conversión que se implementó fue la del 27 de Julio del 2021 en donde USD\$ 1 equivale a COP\$ 3,919)

Tabla 14 Costos del sistema del alcantarillado del diseño de Amarilo

Costo de la red (COP\$)	\$ 1,212,425,670.51
Costo de la red (USD\$)	\$ 30'933,961.08

5. METODOLOGÍA

Para poder cumplir con los objetivos de la tesis fue necesario seguir los siguientes pasos: 1) solicitud de la información 2) diseño convencional 3) diseño condominial. A continuación, se describirá que se hizo en cada uno de estos procesos.

5.1 Solicitud de la información sistema convencional



El primer paso para poder realizar el diseño del sistema convencional optimizado en UTOPIA fue solicitar la siguiente información a la constructora:

- Localización del proyecto y características de la zona.
- Coordenadas X y Y de cada uno de los pozos.
- La cota del terreno (coordenada z) de cada pozo.
- Caudal de diseño para cada tramo de tubería.
- Rugosidad absoluta de las tuberías.
- Pozo de inicio y fin de cada uno de los tramos.
- Mapa del uso de suelo.
- Planos de la zona.
- Memoria de cálculo de cada una de las etapas.
- Conjunto de diámetros comerciales implementados, lo cual estaba relacionado con el material de la tubería que sería usado.
- Hidrograma de la estación más cercana.
- Curvas de nivel

Gracias a la ayuda de un asesor de Amarillo fue posible contar con casi toda la información de la lista, excepto con el hidrograma de la estación más cercana y las curvas de nivel de la zona. No obstante, para el diseño del alcantarillado convencional optimizado esta información no era de relevancia ya que con el resto de los datos fue posible realizar el diseño.

Por organización interna de la constructora, la información del sistema de alcantarillado estaba dividida según la ubicación del pozo en la etapa de construcción y como se mencionó, anteriormente, Ciudad Verde se dividió en siete etapas. La información del diseño del alcantarillado convencional en las primeras tres etapas era muy escasa ya que hacía mucho tiempo que Amarillo había realizado la construcción, no obstante, se logró obtener la información de caudales y coordenadas, de estas etapas, que eran necesarias para el diseño de todo el proyecto.

5.1.1 Análisis de la información

Al juntar la información de cada una de las etapas y tener solo un archivo con los datos de todo el proyecto, se encontraron algunas inconsistencias en la información brindada. A continuación, se describe cada uno de los problemas y la solución que se realizó para hacer el diseño.

Problema #1: Las coordenadas de un mismo pozo podrían ser diferentes, dependiendo de la Etapa en donde se encontraba la información. Por ejemplo, para el pozo 37 en la Etapa I se tenía 84718.79 y 101791.42 como su coordenada X y Y, respectivamente, pero en la Etapa III estas eran 84721.34 y 101782.46.



Solución: Se usaron las coordenadas que se encontraban en los informes de la última etapa construida.

Problema #2: La información de las coordenadas de cada uno de los pozos no estaba completa, por lo que se tenía el caudal del tramo que se conectaba a un pozo, y no se tenía información de la ubicación de este.

Solución: Se determinaron las coordenadas de los pozos faltantes con ayuda de ArcGis. Sin embargo, es necesario mencionar que estas son una aproximación de las coordenadas reales.

Problema #3: La longitud en la memoria de cálculo de algunas tuberías no era correcta ya que al calcularla con las coordenadas se tenían valores muy diferentes.

Solución: Se corrigió esta longitud usando los valores reportados en ArcGis y los obtenidos con las coordenadas, los cuales eran muy similares.

Problema #4: Una misma tubería podía encontrarse en dos memorias de cálculo diferentes y al compararlas se encontraban diferencias no solo en las coordenadas, sino también en sus caudales, los cuales podrían variar hasta 200 L/s.

Solución: Se usó el caudal que se encontraba en la memoria de cálculo de la última etapa construida, es decir, Etapa VI.

Problema #5: Algunos tramos tenían inconsistencias en la tubería de inicio y fin porque en ocasiones el punto de inicio era el mismo que el de salida y esto, evidentemente, no puede ocurrir.

Solución: Se utilizaron los archivos de AutoCAD que la constructora envió para verificar el sentido del flujo de cada tubería.

5.2 Diseño convencional optimizado

5.2.1 Diseño con normativa colombiana

Teniendo en cuenta el procedimiento que se describió en la sección 2.4 para el diseño del alcantarillado convencional optimizado, se puede decir que para el diseño que se hará de Ciudad Verde no es necesario determinar la selección del trazado ya que esta fue dada por Amarilo, es decir, ya se contaba con el caudal y dirección de flujo de cada una de las tuberías. Al tener la selección del trazado no es necesario usar el código que se encuentra en XPRESS (observar Figura 9), solamente se utilizará y modificará la parte de UTOPIA que está en JAVA.

Para poder implementar el software de UTOPIA, teniendo la selección del trazado, es necesario crear los archivos de entrada en los cuales se mencionan las coordenadas X, Y y Z de cada uno



de los puntos, además, del caudal de cada tubería, el caudal de descarga del sistema y se deben diferenciar las tuberías de inicio y continuas. Estos archivos deben seguir una estructura ya establecida para que así el software pueda ejecutar el modelo sin ningún problema. Algunos errores comunes que se pueden generar en el archivo de entrada son: espacios adicionales, ingresar los datos con comas, confundir tuberías de inicio y continuas, etc. Para determinar las tuberías de inicio y las continuas se implementó la definición que se encuentra en la sección 2.4 y la dirección del flujo que brindó Amarilo. Por otro lado, las coordenadas X, Y y Z y los caudales de cada tubería, también fueron datos que envió Amarilo en una memoria de cálculo.

Después de tener los archivos de entrada, fue necesario modificar algunas secciones del código de UTOPIA, por ejemplo, se incluyeron las restricciones establecidas por la Resolución 0330 los diámetros comerciales y el n de Manning (0.10), según el material de la tubería y la ecuación de costo de Navarro (2019). A continuación, se pueden observar los diámetros (m) implementados.

$$d = \{0.227, 0.284, 0.327, 0.362, 0.407, 0.452, 0.595, 0.671, 0.747, 0.823, 0.975, 1.051, 1.127, 1.3\} \quad \text{Ecuación 17}$$

En la primera parte de la Tesis se realizó el diseño del sistema convencional optimizado con un esfuerzo cortante de 1.2 Pa para que fuera posible comparar los costos del sistema optimizado y del sistema realizado por Amarilo. No obstante, en la Resolución 0330 del 2017 se exige que el esfuerzo cortante mínimo de los sistemas convencionales sea de 1.0 Pa. Por esta razón, para la segunda parte de la tesis se implementará un esfuerzo cortante de 1.0 Pa. Adicionalmente, este valor de esfuerzo cortante mínimo también es utilizado en los sistemas condominiales y esto permite que la comparación de costos sea más exacta. En la sección de resultados se mencionarán los costos de ambos sistemas optimizados al cambiar este parámetro de esfuerzo cortante.

5.2.2 Diseño usando parámetros de la constructora

Al realizar el diseño con las restricciones de la Resolución 0330 del 2017, y compararlo con el diseño de Amarilo, se pudo apreciar una gran diferencia. Al analizar los resultados se pudo notar que esto se debía a que Amarilo estaba usando otras restricciones hidráulicas para la profundidad mínima, profundidad máxima y esfuerzo cortante. Por lo tanto, para poder hacer la comparación económica entre el diseño optimizado obtenido en UTOPIA y el diseño realizado por Amarilo, se decidió volver a correr el modelo, pero esta vez usando las restricciones de diseño que implementaba Amarilo. En la Tabla 15 se pueden observar los parámetros que se diferencian entre la normativa y lo usado en Amarilo.



Tabla 15 Diferencias en los parámetros de diseño

	Profundidad mínima en acera(m)	Profundidad máxima (m)	Esfuerzo cortante (Pa)
Usado en Amarilo	0.82	12	0.75
Resolución 0330	1.2	5.0	1.0

5.3 Diseño condominial

Para realizar el diseño condominial fue necesario seguir los siguientes pasos:

1. Determinar las curvas del nivel del terreno, implementando el programa Google Earth Pro y ArcGIS ya que las curvas que fueron brindadas por Amarilo no eran suficientes para realizar el diseño.
2. Realizar el trazado de la red, lo ideal era que la mayoría de las tuberías estuvieran ubicadas en la acera de las casas, ya que no era posible implementar el trazado por el fondo de los lotes o en los cruces y entradas de los garajes porque la mayoría de las edificaciones ya estaban construidas y para este tipo de trazado se recomienda que el lote este baldío.
3. Verificar que en todas las tuberías el flujo que pase se encuentra a favor de la pendiente. Este fue una de las mayores dificultades ya que la zona de Ciudad Verde era muy plana y generaba algunos planos en contrapendiente.
4. Determinar el caudal por unidad de área de Ciudad Verde y, posteriormente, usar polígonos de Thiessen para poder determinar el caudal de cada uno de los pozos. Esto se hizo con ayuda de SewerGems y ArcGIS.
5. Asegurar que todas las tuberías transportaran un caudal mínimo de 1.5 L/s, o sino realizar el cambio de los caudales para que se cumpla con esta restricción que se encuentra en la norma colombiana.
6. Ingresar los diámetros comerciales permitidos (ver Ecuación 18) para el diseño en el programa que se desee utilizar.

$$d = \{0.99, 0.145, 0.182, 0.227, 0.284, 0.327, 0.362, 0.407, 0.452, 0.595, 0.671, 0.747, 0.823, 0.975, 1.051, 1.127\} \quad \text{Ecuación 18}$$

7. Ingresar las restricciones de diseño: esfuerzo cortante mínimo (1.0 Pa), profundidad de excavación mínima (0.6 m), velocidad máxima (5 m/s) y relación de llenado máxima (80 %). Todos estos parámetros se encuentran en la Resolución 0330 del 2017.
8. Realizar el diseño, implementando el programa deseado.



Para poder realizar una comparación más detallada entre el sistema condominial y el sistema convencional, se decidieron realizar 7 diseños en total. Tres diseños para el sistema convencional y 4 diseños para el sistema condominial (ver Tabla 16 y Tabla 17). En los diseños del sistema condominial se están variando los diámetros de las tuberías implementados, además, de la distancia entre los pozos. En la Resolución 0330 del 2017 se menciona que la distancia máxima que pueden tener los pozos condominiales es de 25 m, mientras que en los sistemas convencionales esta distancia puede ser de hasta 80 m. Por esta razón, se decidió hacer un diseño en SewerGems y otro en UTOPIA.

Para el diseño condominial se decidieron hacer 4 diseños diferentes (ver Tabla 16). En los dos primeros diseños se utilizó el programa SewerGems. Para el primer diseño realizado en este programa se realizó un trazado de la red en donde se cumple con todos los parámetros que se encuentran en la norma (profundidad, diámetros, distancia entre pozos, etc), mientras que en el segundo diseño realizado en SewerGems se cumple con todos los parámetros, excepto con la distancia mínima entre los pozos, es decir, este parámetro no se cumplirá en este diseño y puede que existan pozos con una distancia mayor a 25 m y de hasta 80 m. Por otro lado, los últimos dos diseños se realizaron en UTOPIA y tienen el mismo trazado de la red de SewerGems, la diferencia es que en este programa no es posible diferenciar las tuberías de la red principal y red condominial, por esta razón, siempre se usarán diámetros mayores a 200 mm. A continuación, hay un resumen de los 6 diseños realizados y las características de cada uno de estos:

Tabla 16 Diseños realizados para el sistema condominial

Alcantarillado Condominial				
Diseño	<i>1. Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>2. Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>	<i>3. Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>4. Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>
Programa usado	SewerGems		UTOPIA	
Parámetros de diseños usados	Parámetros del sistema condominial que están en la Resolución 0330 del 2017		Se cumple con la profundidad mínima de 0.6 m, pero no con el diámetro mínimo	



Tabla 17 Diseños realizados para el sistema convencional de Ciudad Verde

Alcantarillado Convencional			
Diseño	<i>1.Convencional Realizado por Amarilo</i>	<i>2. Convencional optimizado (1.2 Pa)</i>	<i>3.Convencional optimizado (1.0 Pa)</i>
Programa usado	-	UTOPIA	
Parámetros de diseños usados	-Profundidad mínima de 0.82 m -Esfuerzo cortante mínimo de 0.75 Pa	Esfuerzo cortante mínimo de 1.2 Pa	Resolución 0330 del 2017 (Esfuerzo cortante mínimo 1.0 Pa)

5.4 Evaluación Social

En los sistemas de alcantarillado, normalmente, se tiene una gran inversión y anualmente se tienen costos de mantenimiento. Por esta razón, si se determinan los indicadores comunes (TIR, VPN, etc) para la evaluación económica financiera de este proyecto se obtendría que este no es rentable porque tiene elevados costos y una baja ganancia. Para evaluar, correctamente, un sistema de alcantarillado se debe tener en cuenta los beneficios sociales que este generará en el periodo de diseño y no las ganancias económicas del proyecto.

Para realizar una evaluación social de los alcantarillados diseñados, se implementó el indicador ratio costo efectividad. Este incluye el valor actual de los costos sociales netos y el indicador de efectividad (ver Ecuación 19). Para los sistemas de alcantarillado, el indicador de efectividad es el promedio de los usuarios que se beneficiarán con el proyecto (Ramos, 2018). Por otro lado, el valor actual de los costos incluye la inversión inicial y los costos de mantenimiento durante el periodo de diseño.

$$CE = \frac{VAC}{IE}$$

Ecuación 19

Donde:

CE: Ratio costo efectividad (\$USD/hab)

VAC: Valor actual de los costos sociales netos (\$USD)

IE: Indicador de efectividad (hab)



6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Inicialmente, se presentan los resultados obtenidos para el diseño convencional optimizado usando dos parámetros de diseños diferentes. Para el primer diseño se implementarán las restricciones de diseño que se encuentran en la normativa colombiana vigente para el 2021, pero se implementará un esfuerzo cortante de 1.2 Pa, en vez de 1.0 Pa con el fin de que sea posible comparar los resultados del sistema convencional optimizado y el diseño realizado por Amarilo. Para el segundo diseño convencional optimizado se usarán los parámetros que fueron implementados en el diseño de Amarilo.

En una segunda sección se presentarán y analizarán los resultados de los cuatro diseños del sistema condominial realizado. Para los dos primeros diseños condominiales se implementó el programa SewerGEMS, el cual nos permitió cumplir con todos los parámetros que se encuentran en la Resolución 0330 del 2017. La diferencia entre estos dos diseños realizados es la distancia entre los pozos, ya que el primer diseño usa una distancia de 25 m, mientras que el segundo diseño usa una distancia de máximo 80 m. Para los últimos dos diseños se implementó el programa UTOPIA, el cual no nos permitía cumplir con el diámetro mínimo de la normativa colombiana, por esta razón, se usó como diámetro mínimo 200 mm. La diferencia entre el diseño tres y cuatro es la distancia entre los pozos (ver Tabla 16). Para realizar una comparación entre el sistema convencional optimizado y el sistema condominial solo se implementará el sistema convencional optimizado que cumple con todos los parámetros de la Resolución 0330 del 2017, es decir, usa 1.0 Pa como esfuerzo cortante mínimo.

6.1 Diseño convencional optimizado

Las características de la red de alcantarillado convencional de Ciudad Verde que se diseñará son las siguientes:

Tabla 18 Características de la red de Ciudad Verde

Características	Número de elementos
Pozos	414
Tuberías Continuas	336
Tuberías de Inicio	77
Punto de Descarga	1

Teniendo en cuenta la información de la Tabla 18, los caudales de cada una de las tuberías y las coordenadas de cada pozo, fue posible crear el archivo de entrada del Software UTOPIA en



formato .inp. Al correr el programa se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales fueron comparados con el diseño realizado por la constructora.

Para el diseño convencional optimizado se implementaron los valores de la Tabla 15

Tabla 19 Parámetros de diseño usados

Parámetro	Valores usados
Profundidad mínima a la cota clave	0.75 m vías peatonales o zonas verdes 1.20 m a vías vehiculares
Diámetro interno real mínimo	170 mm para poblaciones >2500 140 mm para poblaciones ≤ 2500
Esfuerzo cortante	1.2 Pa
Velocidad máxima	6 m/s
Relación de llenado	85%

6.1.1 Diseño con normativa colombiana

En la Figura 18 se observa el diámetro de cada una de las tuberías del alcantarillado convencional optimizado en Ciudad Verde, cumpliendo con las restricciones que se encuentran en la Tabla 19, además se puede observar el trazado de la red que fue dado por Amarilo. En el Anexo 2 encuentra el diseño completo las tuberías de la red, en este se incluye la longitud, pendiente, relación de llenado, velocidad, esfuerzo cortante y la cota clave de la tubería de inicio y fin de cada tramo.

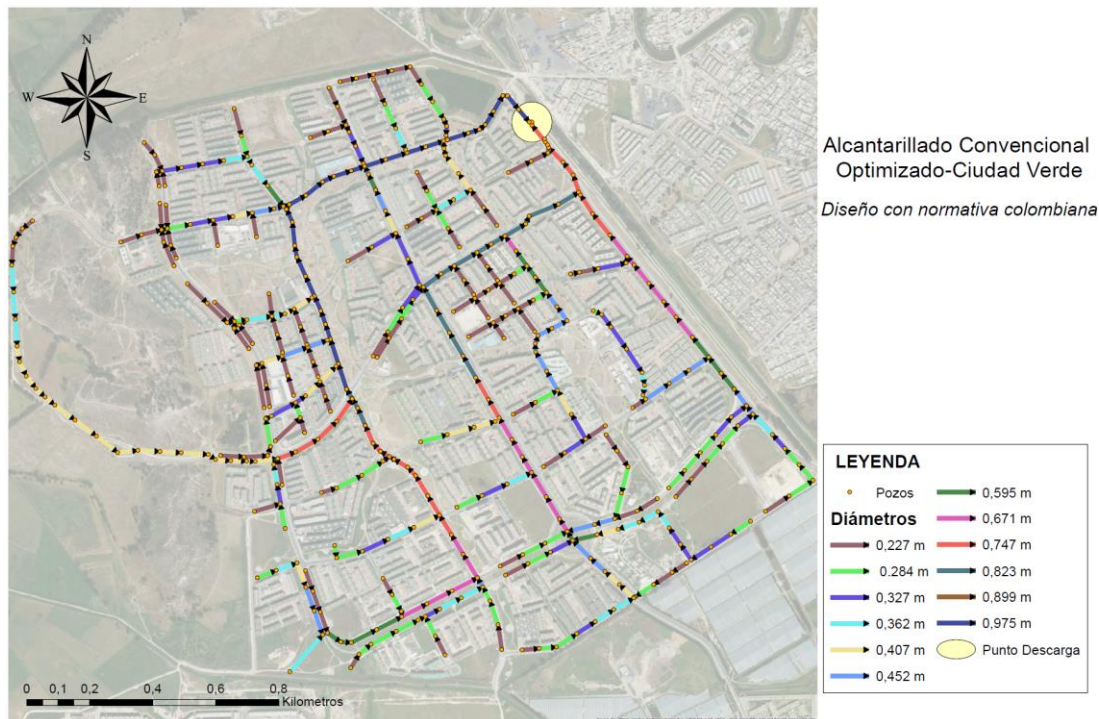


Figura 18 Diseño alcantarillado convencional optimizado- Norma colombiana

En la Figura 19 se encuentra la frecuencia de los diámetros que se obtuvieron al realizar el diseño optimizado de la red de alcantarillado según la normativa colombiana y los diámetros obtenidos en el diseño realizado por Amarilo. Al comparar ambos diseños se tiene que el diámetro más frecuente es el de 0.227 m, no obstante, existen muchas más tuberías con este diámetro para el diseño optimizado que para el de Amarilo. Además, se puede observar que hay una mayor frecuencia en los diámetros de 0.284 m, 0.327 m, 0.362 m, 0.59 m y 0.74 m para el diseño de Amarilo que para el optimizado. Finalmente, en el diseño de Amarilo se tienen tuberías de grandes diámetros, es decir, de 1.05 m y 1.127 m, al realizar el diseño en UTOPIA no se implementaron estos diámetros ya que con las tuberías de valores inferiores fue posible transportar el caudal necesario y cumplir con las restricciones establecidas. Al no implementar estos grandes diámetros será posible reducir los costos del sistema de alcantarillado ya que en la Ecuación 14 se puede observar que el costo es directamente proporcional al diámetro implementado. Por lo tanto, si se analiza la ecuación de costos, simplemente con la frecuencia de los diámetros, se puede decir que el diseño optimizado tendrá un costo inferior.

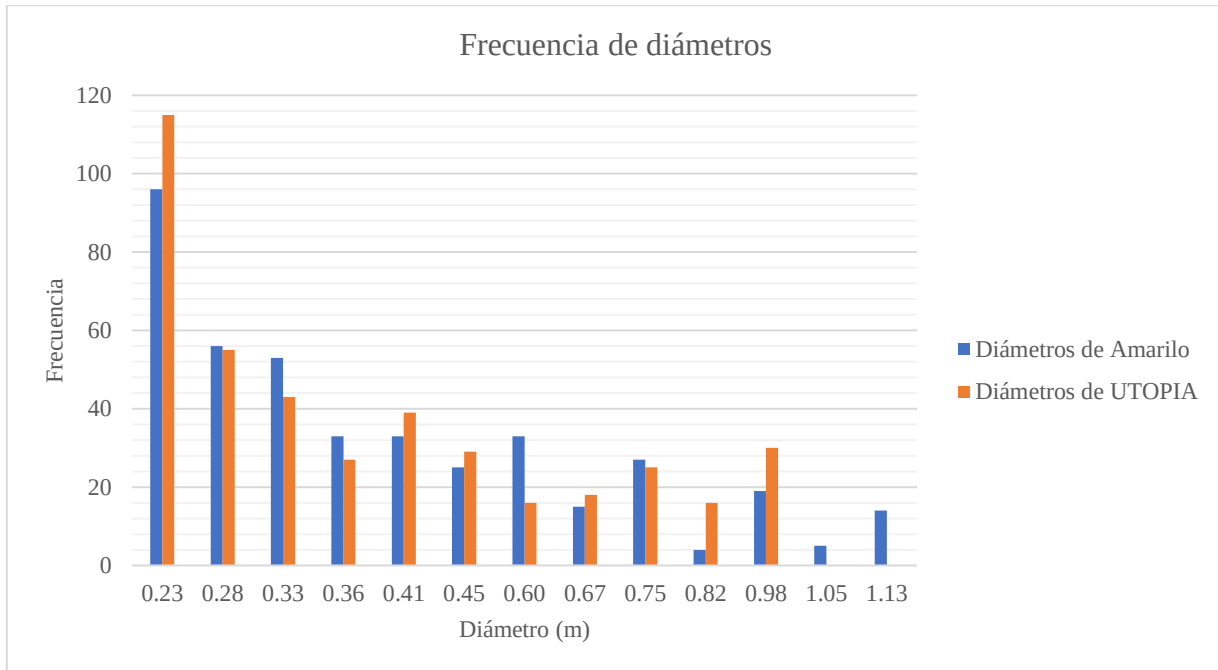


Figura 19 Comparación de frecuencia de diámetros según el diseño optimizado realizado en UTOPIA y lo obtenido en Amarilo.

En la Figura 20 se puede observar la comparación del diseño optimizado y el realizado por Amarilo en términos del esfuerzo cortante. Como se puede observar en el diseño optimizado siempre se cumple con la restricción del esfuerzo cortante mínimo de 1.2 Pa, mientras que en el diseño de Amarilo hay valores inferiores a este. Cumplir con la restricción del esfuerzo cortante es importante ya que este garantiza la autolimpieza de la tubería, lo cual mejoraría el funcionamiento del sistema en un futuro.

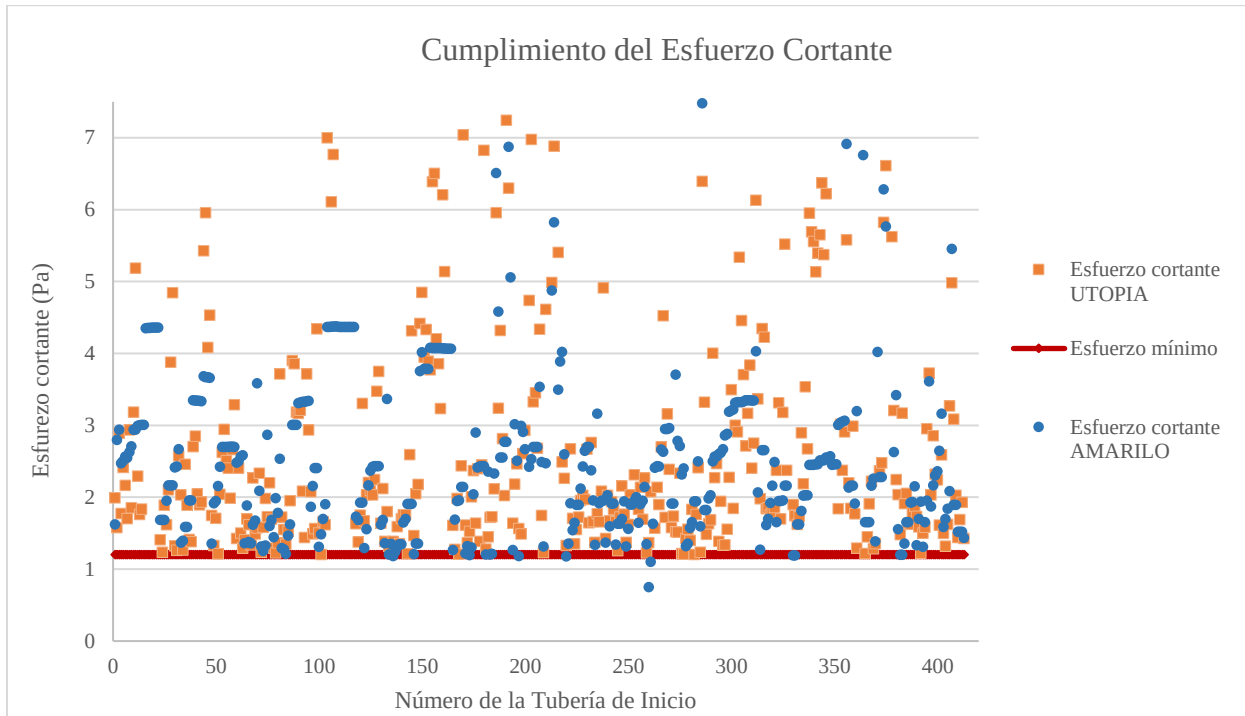


Figura 20 Comparación esfuerzo cortante del diseño optimizado y diseño de Amarilo

En la Figura 21 se encuentra la comparación de la profundidad de excavación a la cota clave del diseño optimizado y el diseño de Amarilo. En primer lugar, se puede observar que la profundidad mínima siempre se cumple para el diseño optimizado, esto mismo no ocurre para el diseño de Amarilo, por esta razón se recomienda que en este último diseño se implemente protección a la tubería para que no existan problemas de rupturas o grietas. Por otro lado, ninguno de los diseños cumple con la restricción máxima de profundidad (5 m), no obstante, para el diseño optimizado se tiene una profundidad menor que en el diseño de la constructora ya que los valores son 10.5 m y 11.7 m, respectivamente. Al analizar la Ecuación 14 se tiene que los costos del sistema son proporcionales al diámetro de la tubería y al volumen de excavación, este último depende de la profundidad de excavación de la tubería inicial y final. Por lo tanto, al tener una profundidad de excavación menor para el diseño optimizado, se esperan unos menores costos de construcción. Por otro lado, se puede observar que en algunos tramos de tubería se tiene una profundidad muy similar entre ambos diseños.

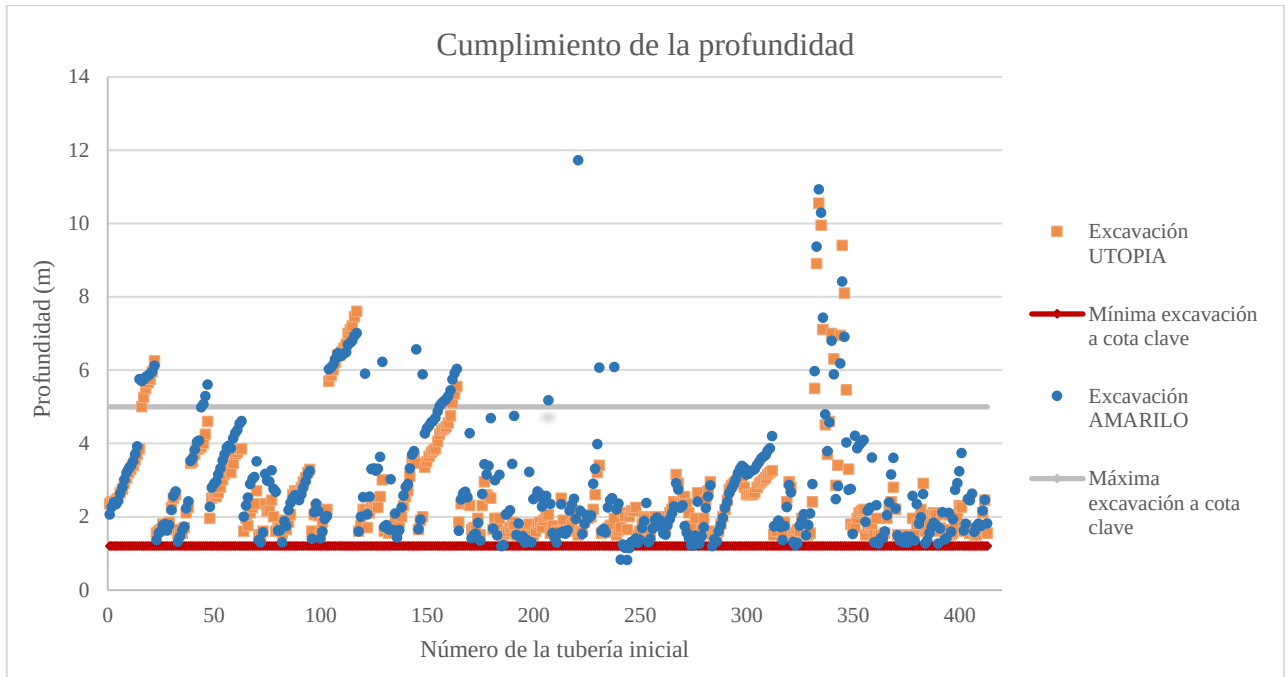


Figura 21 Comparación profundidad de excavación diseño optimizado y diseño de Amarilo

En el Software UTOPIA además de realizar el diseño que se presentó anteriormente, también es posible determinar los costos del sistema mediante la ecuación de costos escogida. Para este diseño se decidió implementar la ecuación de Navarro (2009) y se obtuvo como resultado el costo que se encuentra en la Tabla 20. (La conversión que se implementó fue la del 27 de Julio del 2021 en donde USD\$ 1 equivale a COP\$ 3,919)

Tabla 20 Costo de la red del diseño optimizado cumpliendo normativa

Costo de la red (COP\$)	\$ 930'678,392.07
Costo de la red (USD\$)	\$23'745,430.22

6.1.2 Diseño usando parámetros de la constructora

Después de analizar el diseño que realizó Amarilo, se pudo observar que en este se están implementando parámetros diferentes a los que se encuentran en la norma. Para poder realizar una comparación económica más exacta se decidió realizar el diseño optimizado usando los parámetros que se implementaron en Amarilo. En esta sección se encuentran los resultados económicos e hidráulicos del diseño.



Tabla 21 Parámetros mínimos implementados en Ciudad Verde

Parámetro	Implementado en el alcantarillado de Ciudad Verde
Profundidad mínima a la cota clave	0.82 m
Diámetro interno real mínimo	170 mm para poblaciones >2500 140 mm para poblaciones ≤ 2500
Esfuerzo cortante	0.75 Pa
Velocidad mínima	N.A.
Velocidad máxima	5 m/s- 10 m/s
Relación de llenado	85%

En la Figura 22 se observa el diámetro de cada una de las tuberías del alcantarillado convencional optimizado en Ciudad Verde, implementando los parámetros mínimos que se encuentran en la Tabla 21, además se puede observar el trazado de la red que fue dado por Amarillo. En el Anexo 3 se encuentra el diseño completo las tuberías de la red. En este se incluye la longitud, pendiente, relación de llenado, velocidad, esfuerzo cortante y la cota clave de la tubería de inicio y fin de cada tramo.

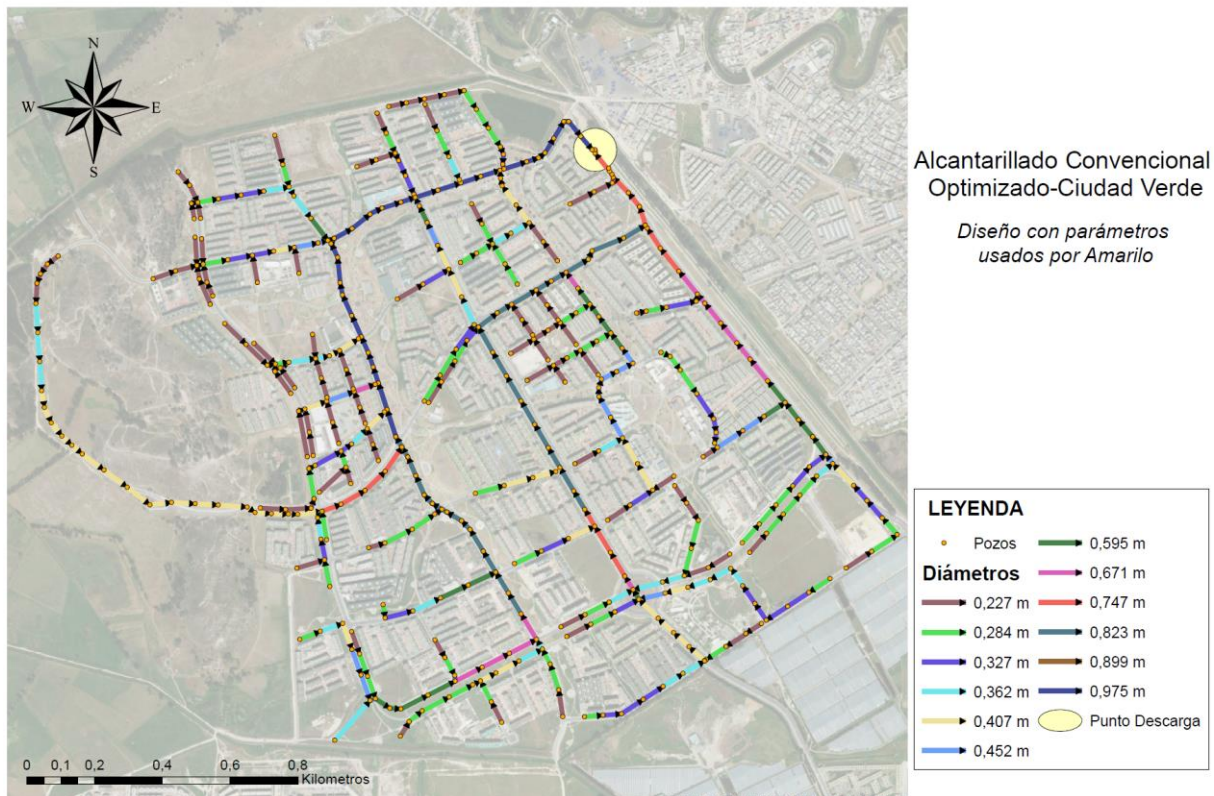


Figura 22 Diseño alcantarillado convencional optimizado- Parámetros usados en Amarilo

En la Figura 23Figura 19 se encuentra la frecuencia de los diámetros que se obtuvieron al realizar el diseño optimizado de la red de alcantarillado según los parámetros de Amarilo y los diámetros implementados en Ciudad Verde. Al comparar ambos diseños se tiene que el diámetro más frecuente es el de 0.227 m, no obstante, existen muchas más tuberías con este diámetro para el diseño optimizado que para el de Amarilo. Además, se puede observar que hay una mayor frecuencia en los diámetros de 0.33 m, 0.36 m, 0.45 m, 0.59 m y 0.75 m para el diseño de Amarilo que para el optimizado. Finalmente, en el diseño de Amarilo se tienen tuberías de grandes diámetros, es decir, de 1.05 m y 1.13 m, al realizar el diseño en UTOPIA no se implementaron estos diámetros ya que con las tuberías de valores inferiores fue posible transportar el caudal necesario y cumplir con las restricciones establecidas. Al no implementar estos grandes diámetros será posible reducir los costos del sistema de alcantarillado ya que en la Ecuación 14 se puede observar que el costo es directamente proporcional al diámetro implementado.

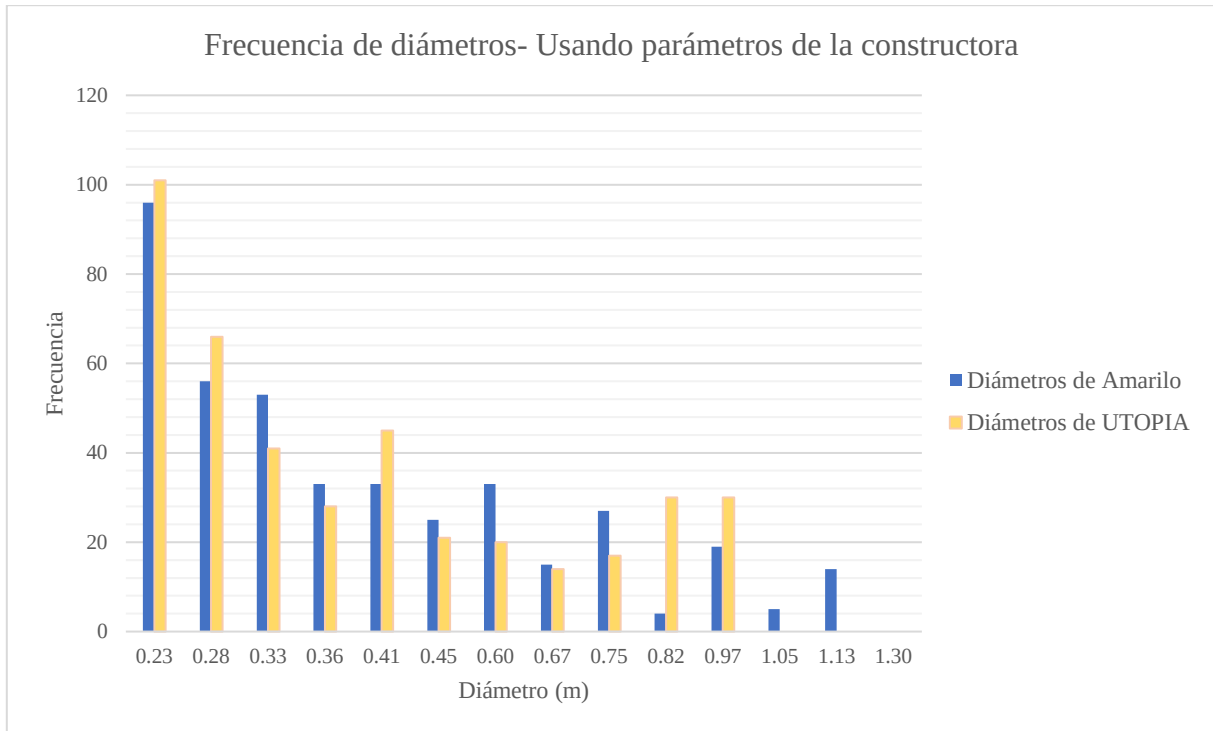


Figura 23 Comparación de frecuencia de diámetros con parámetros de Amarilo

En la Figura 24 se puede observar la comparación del diseño optimizado y el realizado por Amarilo en términos del esfuerzo cortante. El esfuerzo cortante es uno de los parámetros que se cambió en el nuevo diseño realizado en UTOPIA para que así se tuviera el mismo valor implementado en Amarilo. Como se puede observar en este diseño existen múltiples tramos de tuberías del diseño optimizado que tienen un esfuerzo cortante menor a 1.2 Pa (línea roja), mientras que para el diseño de Amarilo solo existe una tubería que incumple con este parámetro. Por esta razón, y teniendo en cuenta que el esfuerzo cortante es un parámetro para evitar la sedimentación de los sólidos, se recomienda que se cumpla con la restricción mínima establecida en la norma de 1.2 Pa y no implementar el valor de 0.75 Pa.

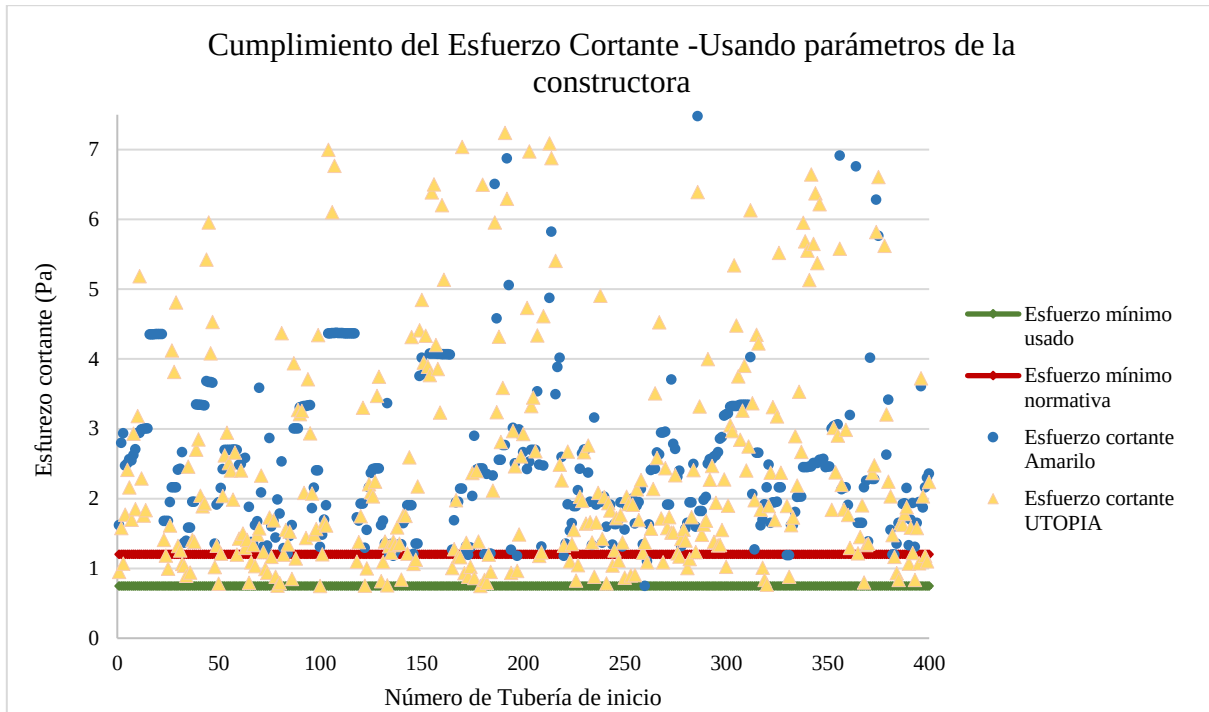


Figura 24 Comparación del esfuerzo cortante con parámetros de Amarilo

En la Figura 25 se encuentra la comparación de la profundidad de excavación a la cota clave del diseño optimizado usando los parámetros de Amarilo y el diseño de la constructora. La profundidad de excavación mínima fue uno de los parámetros que se cambió en el diseño en el software de UTOPIA para que se tuvieran las mismas condiciones de diseño. Al realizar el diseño optimizado se obtuvo que ninguna de las tuberías se encuentra a una profundidad inferior a 1.20 m, aunque la profundidad mínima ingresada en el programa haya sido de 0.82 m. Además, se puede observar que la profundidad de excavación máxima se tiene en el diseño de Amarilo con 11.72 m, mientras que en UTOPIA esta es de 10.07 m.

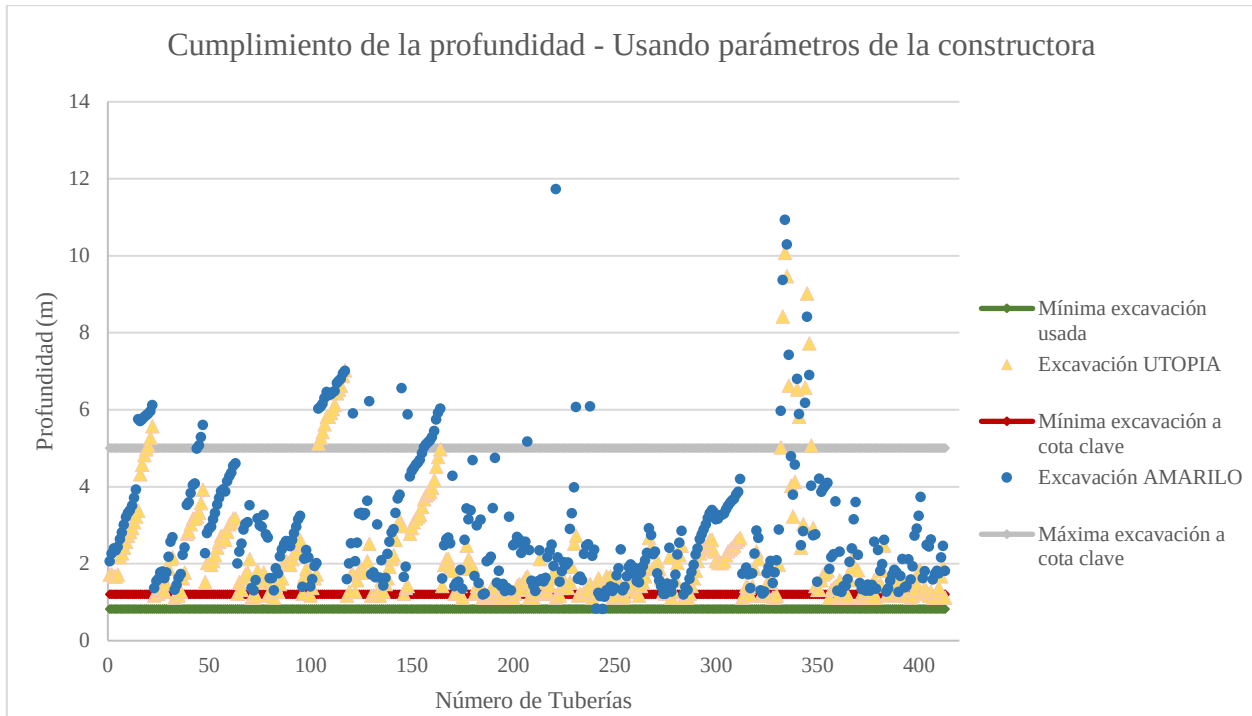


Figura 25 Comparación de la profundidad de excavación usando parámetros de Amarilo

En el Software UTOPIA además de realizar el diseño que se presentó anteriormente, también es posible determinar los costos del sistema mediante la ecuación de costos escogida. Para este diseño se decidió implementar la ecuación de Navarro (2009) y se obtuvo como resultado el costo que se encuentra en la Tabla 22.

Tabla 22 Costo del sistema optimizado usando parámetros de Amarilo

Costo de la red (COP\$)	\$ 907'935,791.33
Costo de la red (USD\$)	\$23'165,173.02

6.1.3 Comparación de los diseños convencionales

Después de realizar el diseño optimizado, en UTOPIA, implementando dos restricciones hidráulicas diferentes, y comparando el resultado con el diseño realizado e implementado en Ciudad Verde, se realizará una comparación en términos económicos y restricciones hidráulicas para los tres casos.



6.1.3.1 Costos

En la Tabla 23 se encuentran los costos de la red de alcantarillado para los tres casos analizados. En el diseño realizado por Amarilo e implementado en Ciudad Verde se tiene un costo total de \$ 1,212,425,670.51, al implementar los mismos parámetros, pero en un diseño optimizado el costo es de \$ 907,935,791.33. Finalmente, se obtuvo un costo de \$ 930,678,392.07 al realizar un diseño optimizado que cumple con todas las restricciones que se encuentran en la normativa colombiana.

Tabla 23 Comparación de los costos de la red para los tres diseños

	Diseño de Amarilo	Diseño optimizado (parámetros de Amarilo)	Diseño optimizado (normativa colombiana)
Costo de la red (COP\$)	\$ 1,212,425,670.51	\$ 907'935,791.33	\$ 930'678,392.07
Costo de la red (USD\$)	\$ 30'933,961.08	\$23'165,173.02	\$23'745,430.22

Con estos resultados es posible analizar que el diseño optimizado, para ambos casos, tiene un costo inferior al diseño realizado en Amarilo. Para el diseño de UTOPIA con los parámetros de Amarilo se tiene que este diseño es 25.11% más económico que el realizado por la constructora. Por otro lado, la diferencia entre el diseño optimizado con la normativa colombiana y el diseño de Amarilo es 23.3%. Es decir, la reducción en ambos casos es mayor al 20 %, esto se debe a que el diseño optimizado implementó tuberías de menor diámetro y siempre se obtuvo una profundidad de excavación menor a la necesaria en el diseño de Amarilo. Por otro lado, la diferencia económica entre los diseños optimizados se debe a la reducción del esfuerzo cortante ya que al tener un valor inferior es posible tener una velocidad de la tubería menor, lo cual permite implementar tuberías de menor diámetro para el diseño, es decir, el esfuerzo cortante de 0.75 Pa (parámetro de Amarilo) generó una reducción en los diámetros de las tuberías y esto permitió reducir los costos del diseño.

6.1.3.2 Restricciones de diseño

Para comparar las características de ambos diseños optimizados, se decidieron analizar los siguientes parámetros: frecuencia de diámetros, esfuerzo cortante y profundidad de excavación.

En la Figura 26 se puede observar que la frecuencia de los diámetros cambia dependiendo las restricciones de diseño que son utilizadas. En primer lugar, existe una mayor frecuencia en las tuberías de menor diámetro (0.23 m) para el diseño que cumple con la normativa. No obstante,



para este mismo diseño se deben implementar tuberías de 1.05 m, esto se puede deber a que con las restricciones de la normativa se necesita un esfuerzo cortante mayor (1.2 Pa) que el usado en Amarillo (0.75 Pa) y esto genera que sea necesario una velocidad mínima mayor y por lo tanto, se debe implementar una tubería de mayor diámetro. Al implementar tuberías de mayor diámetro se tiene que el costo será mayor, según lo observado en la Ecuación 14

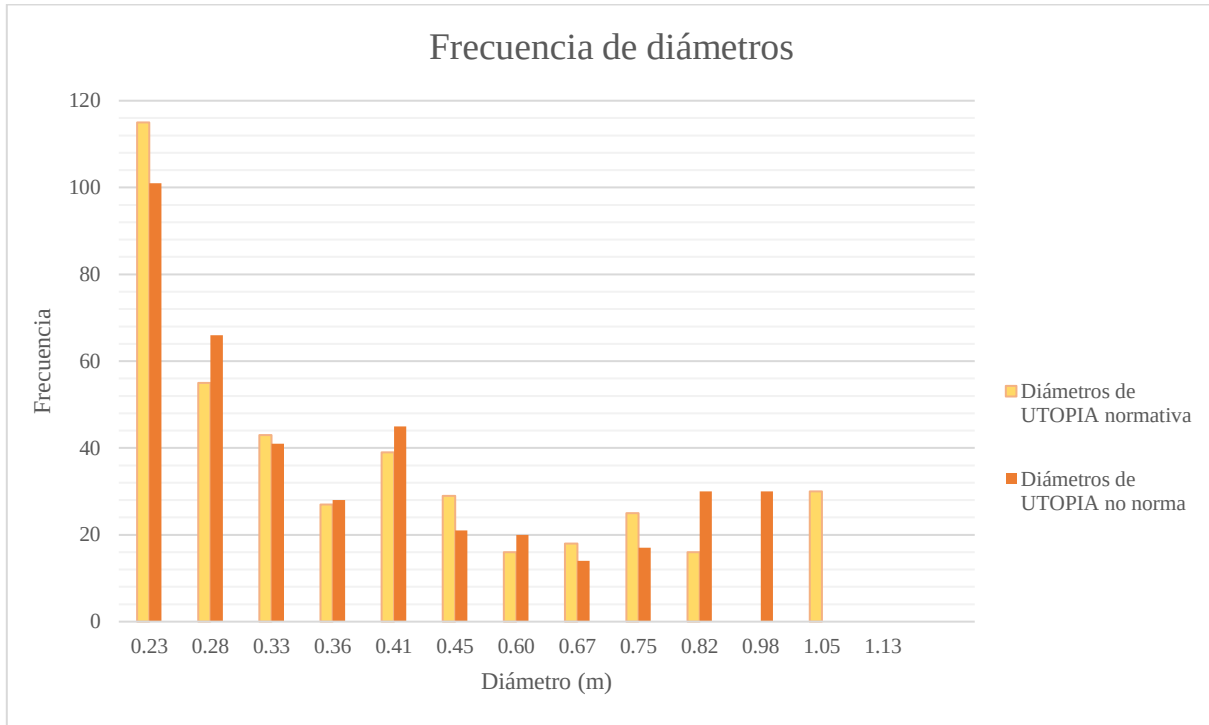


Figura 26 Comparación frecuencia de diámetros diseños optimizados

En la Figura 27 se puede observar la comparación del esfuerzo cortante para el diseño optimizado con la normativa y con las restricciones usadas en Amarillo. Se evidencia que al cambiar las restricciones del esfuerzo cortante en el diseño optimizado se tienen múltiples tuberías que ya no están cumpliendo con lo recomendado y esto podría generar problemas de autolimpieza, es decir, es más probable que se genere una acumulación de los sólidos debido a la sedimentación y esto generaría taponamientos en la tubería. Por esta razón, no es recomendable que se implemente este diseño optimizado en Ciudad Verde, incluso si se tienen menores costos se podrían tener múltiples problemáticas en el sistema.

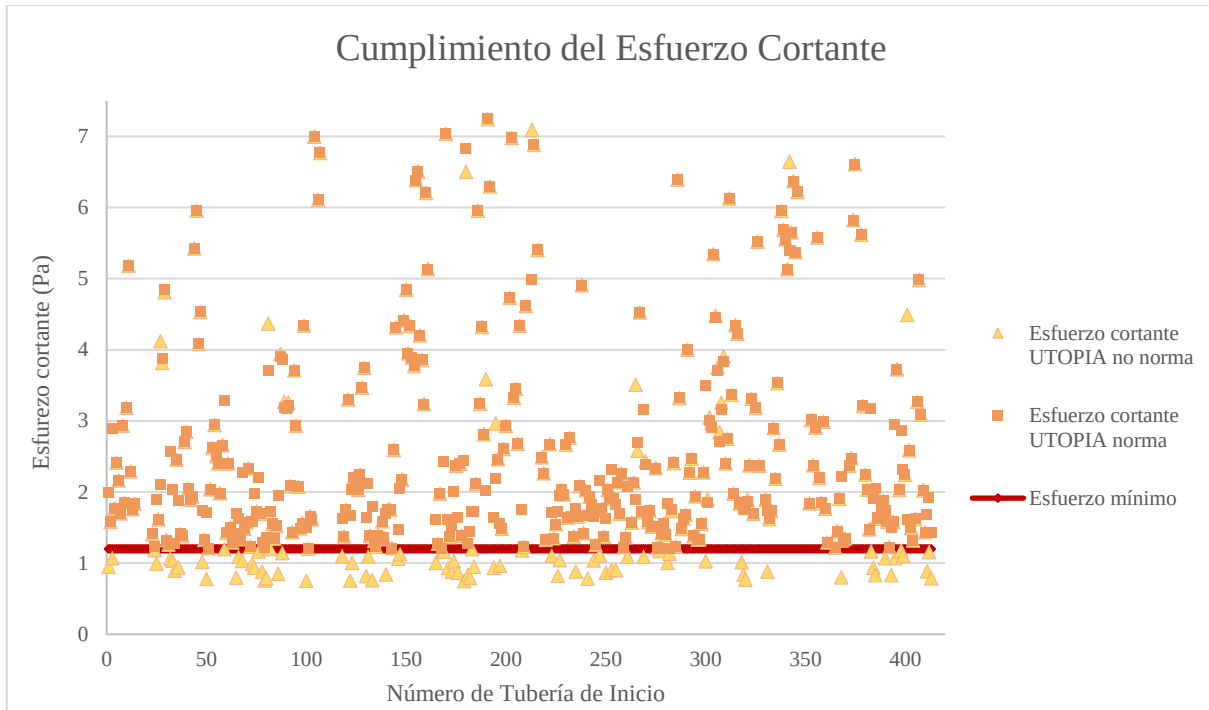


Figura 27 Comparación del esfuerzo cortante para diseños optimizados

A partir de la Figura 28 es posible analizar que aunque la profundidad de excavación tenga una misma tendencia para ambos diseños optimizados, los valores siempre son inferiores para el diseño que no cumple con la normativa colombiana. Lo anterior se debe a que en las restricciones de este diseño se tiene un esfuerzo cortante menor, lo cual permite que la velocidad de la tubería sea menor, es decir, la profundidad de excavación también disminuirá. Ahora bien, teniendo en cuenta que en la ecuación de Navarro (2009) el costo del alcantarillado depende del diámetro de la tubería y el volumen de excavación, se tiene que el diseño optimizado que no usa la norma colombiana será más económico porque implementa diámetros menores y siempre tiene una profundidad de excavación menor, esto se puede observar detalladamente en la Tabla 23.

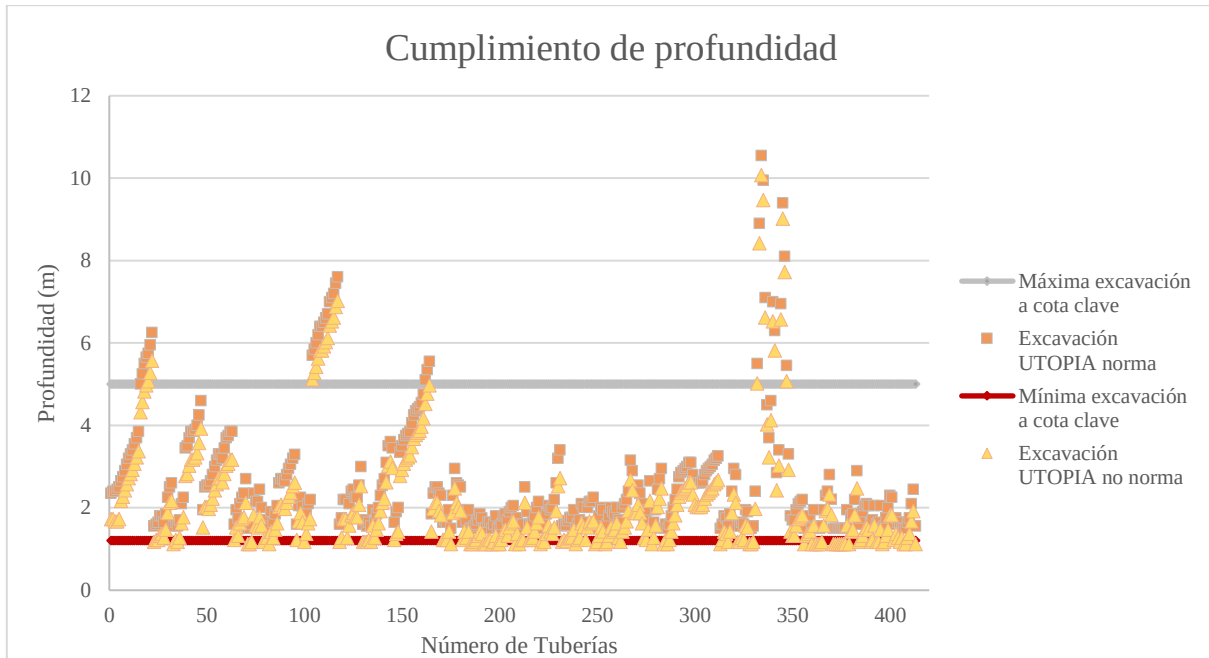


Figura 28 Comparación de la profundidad de excavación para diseños optimizados

Después de realizar un análisis detallado de los sistemas convencionales optimizados obtenidos se considera que el sistema convencional optimizado que cumple con los parámetros que se encuentra en la normativa de diseño es el óptimo, ya que la diferencia de costos entre el sistema que cumple con la normativa y el que no cumple no es muy grande, pero durante el periodo de diseño (20 años) el sistema que no cumple con la normativa podría tener múltiples fallas. Por esta razón, se decidió realizar la comparación del sistema condominial con el sistema convencional optimizado que cumple con los parámetros de la Resolución 0330, incluyendo el esfuerzo cortante mínimo de 1.0 Pa.

6.2 Diseño Condominial

Para realizar el trazado del sistema condominial, fue necesario determinar las curvas de nivel del terreno, esto con el fin de que las tuberías funcionaran a favor de la pendiente. Teniendo en cuenta que Amarilo no brindó información de las curvas de nivel y que las cotas de los pozos que se tenían no eran suficientes para tener curvas de nivel muy detalladas, se decidió determinar las curvas de nivel con ayuda de Google Earth Pro y de ArcGIS. A continuación, se puede observar una comparación de los TIN que se obtuvieron al usar Google Earth Pro y las coordenadas iniciales de Amarilo.

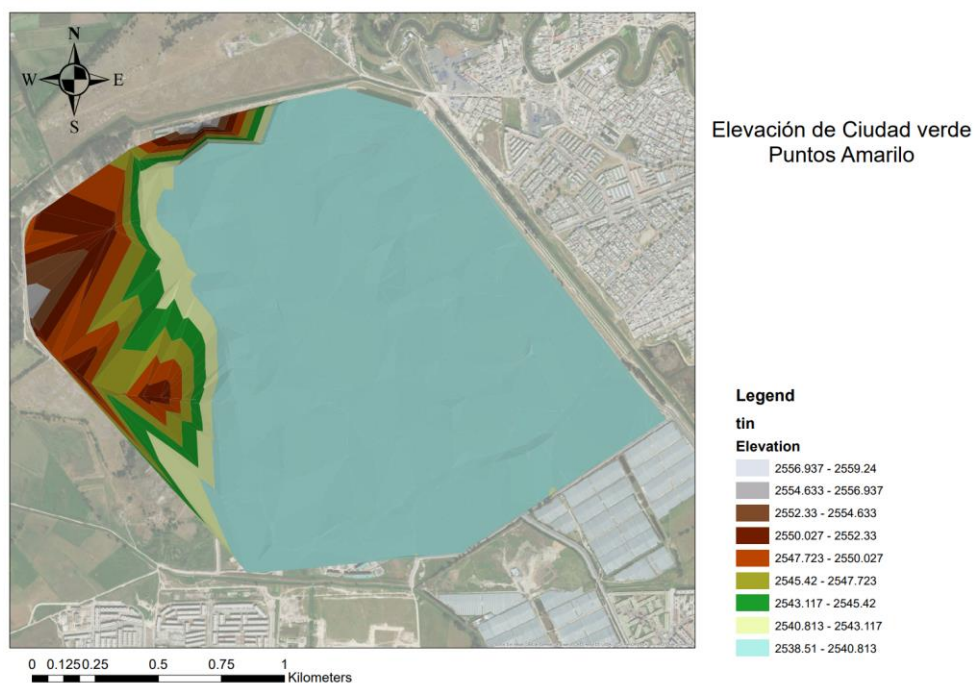


Figura 29 Elevación de Ciudad Verde usando los puntos de Amarillo

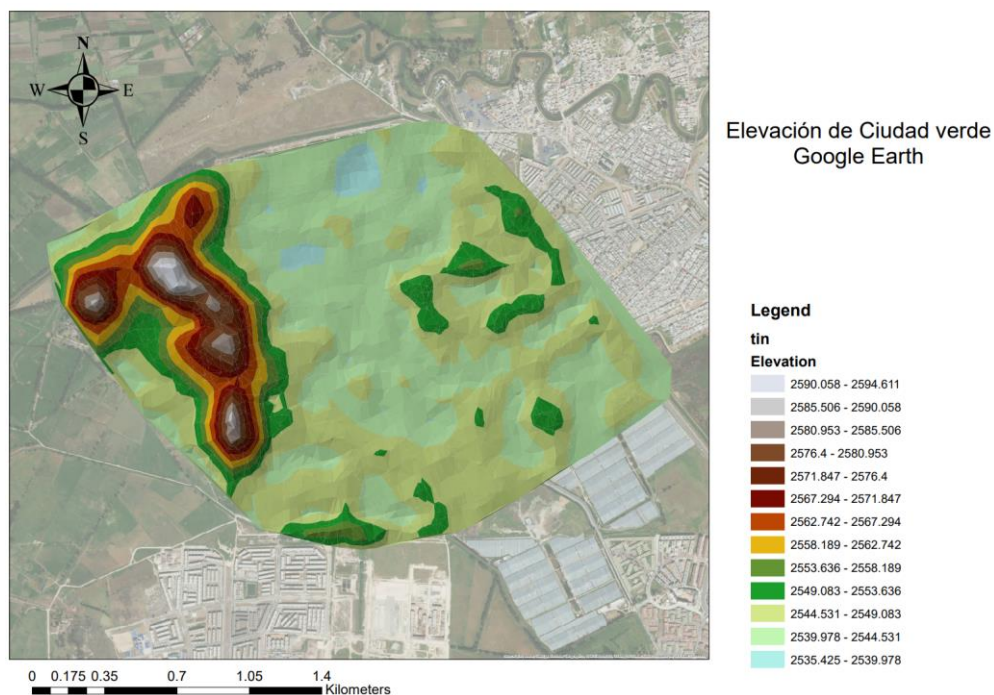


Figura 30 Elevación de Ciudad Verde usando Google Earth



Como se puede observar en la Figura 30 la elevación del área de estudio es mucho más detallada, esto se debe a que se realizaron curvas de nivel cada 0.1 m de distancia. Por otro lado, en la Figura 29 se observa que la mayoría del área de estudio tiene la misma elevación y eso generaba una gran dificultad para realizar el trazado de la red.

Después de determinar las curvas de nivel, se realizó el trazado de la red. Para los cuatro diseños del sistema condominial se realizó el mismo trazado de la red, la diferencia era el número de pozos en cada uno de los tramos. En la Figura 31 se puede observar el trazado realizado para el sistema condominial, además, de la ubicación de la red principal y la red condominial.

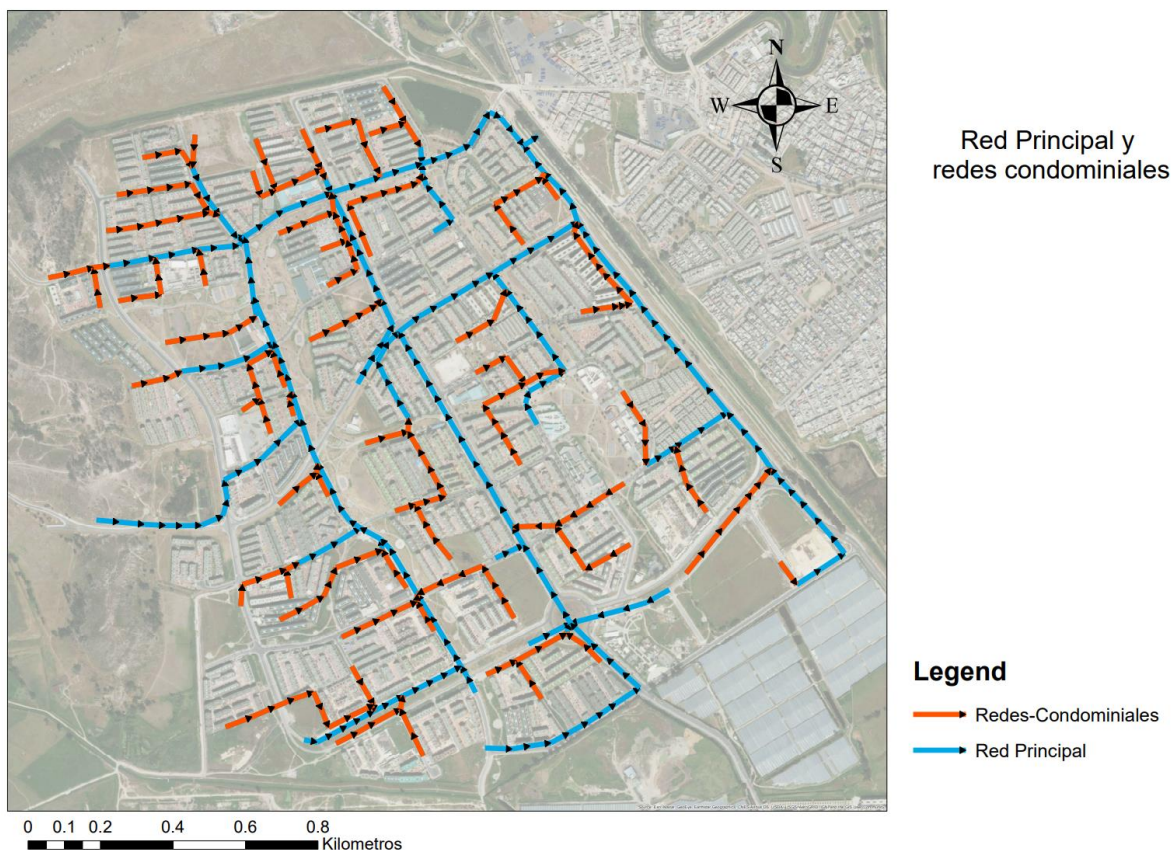


Figura 31 Red Principal y Redes Condominiales.

Después de realizar el trazado de la red fue necesario determinar el caudal de cada uno de los pozos, para poder determinar los caudales se realizó el siguiente procedimiento. Primero, se determinó el caudal por unidad de área de Ciudad Verde, implementando los valores que habían sido brindados por Amarillo, como resultado se obtuvo 6.43 L/Ha. Segundo, se realizaron los polígonos de Thiessen con ayuda de SewerGEMS, teniendo en cuenta que se realizaron dos trazados del sistema condominial, también se obtuvieron dos mapas diferentes de polígonos



(Ver Figura 32 y Figura 33). Finalmente, se multiplicó el área de cada uno de los polígonos con el caudal por unidad de área, para así saber el caudal de cada uno de los pozos.



Figura 32 Polígonos de Thiessen para el sistema condominial cumpliendo los 25 m

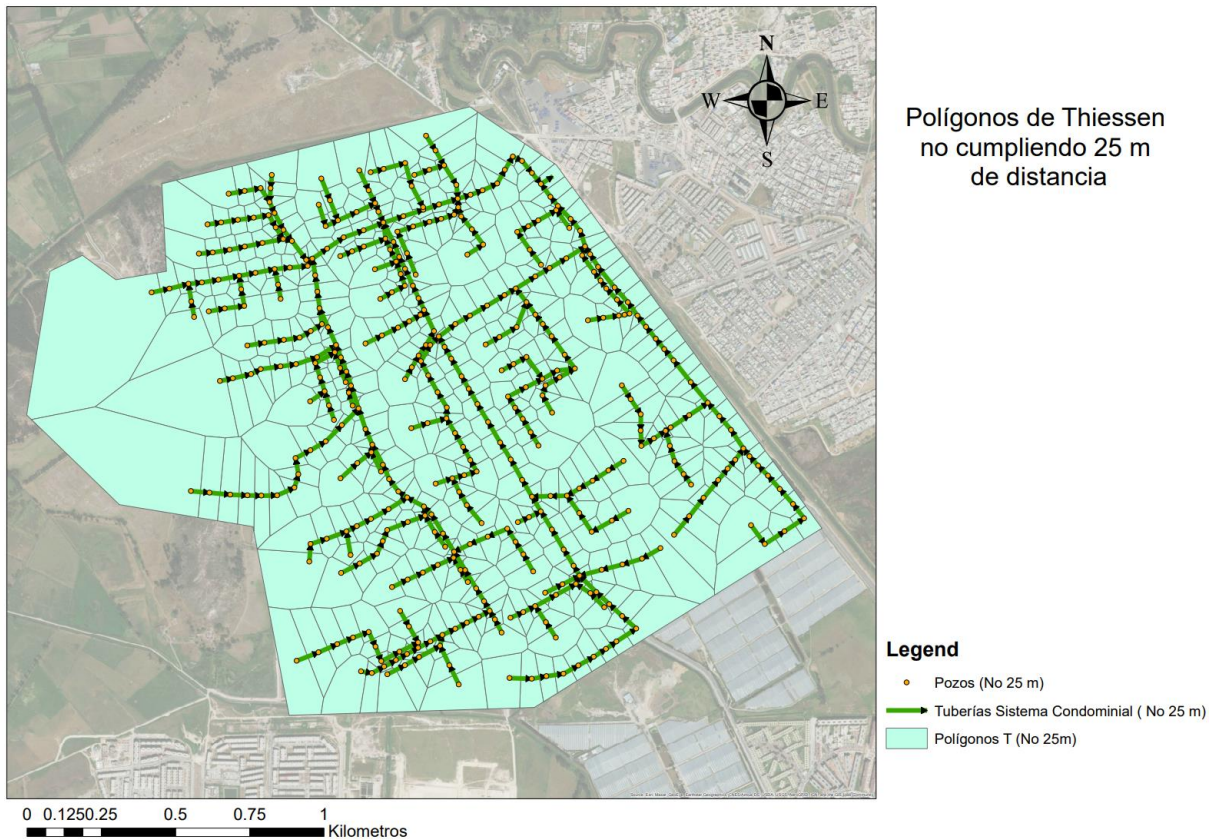


Figura 33 Polígonos de Thiessen para el sistema condominial que no cumple con los 25 m

Es importante mencionar que para determinar los costos de los cuatro diseños condominiales se implementaron las Ecuación 15 (costos de construcción) y Ecuación 16 (costo de cada una de las cámaras). Teniendo en cuenta que ambas ecuaciones dan los costos en pesos colombianos y se quería obtener el resultado en dólares, se implementó la conversión del 27 de Julio del 2021 en donde USD\$ 1 equivale a COP\$ 3,919.

Adicionalmente, cada diseño (el que cumple con los 25 m de distancia y el que no) se realizó en dos programas diferentes, SewerGems y UTOPIA. En SewerGems se cumplieron todos los parámetros de diseño de un sistema condominial, como lo es el diámetro mínimo, profundidad mínima y esfuerzo cortante. Por otro lado, en UTOPIA no era posible diferenciar entre la red principal y la red condominial y teniendo en cuenta que solo la red condominial puede usar diámetros menores a 200 mm, no fue posible incluir este parámetro en el diseño condominial realizado en UTOPIA. Sin embargo, los parámetros como la profundidad mínima y esfuerzo cortante si fueron tenidos en cuenta en UTOPIA. En la Tabla 24 hay un resumen de las restricciones de diseño ingresadas a cada uno de los programas.



Tabla 24 Parámetros de diseño sistema condominial

Parámetro de Diseño		SewerGems	UTOPIA
Diámetro mínimo [m]		0.99	0.200
Esfuerzo cortante mínimo [Pa]		1.0	1.0
Profundidad a cota clave mínima [m]	Red condominial	0.6	0.6
	Red Principal	1.2	1.2
Relación de llenado máxima [%]		80	80

6.2.1 Diseños cumpliendo con los 25 m de distancia entre los pozos

Después de realizar el trazado de la red, se ubicaron los pozos de toda la red, teniendo en cuenta que los pozos del sistema condominial deben tener como distancia máxima entre ellos 25 m. Mientras que los pozos de la red principal pueden tener una distancia máxima de 80 m. En la Figura 34 se observa el sistema condominial que cumple con la distancia máxima de 25 m.

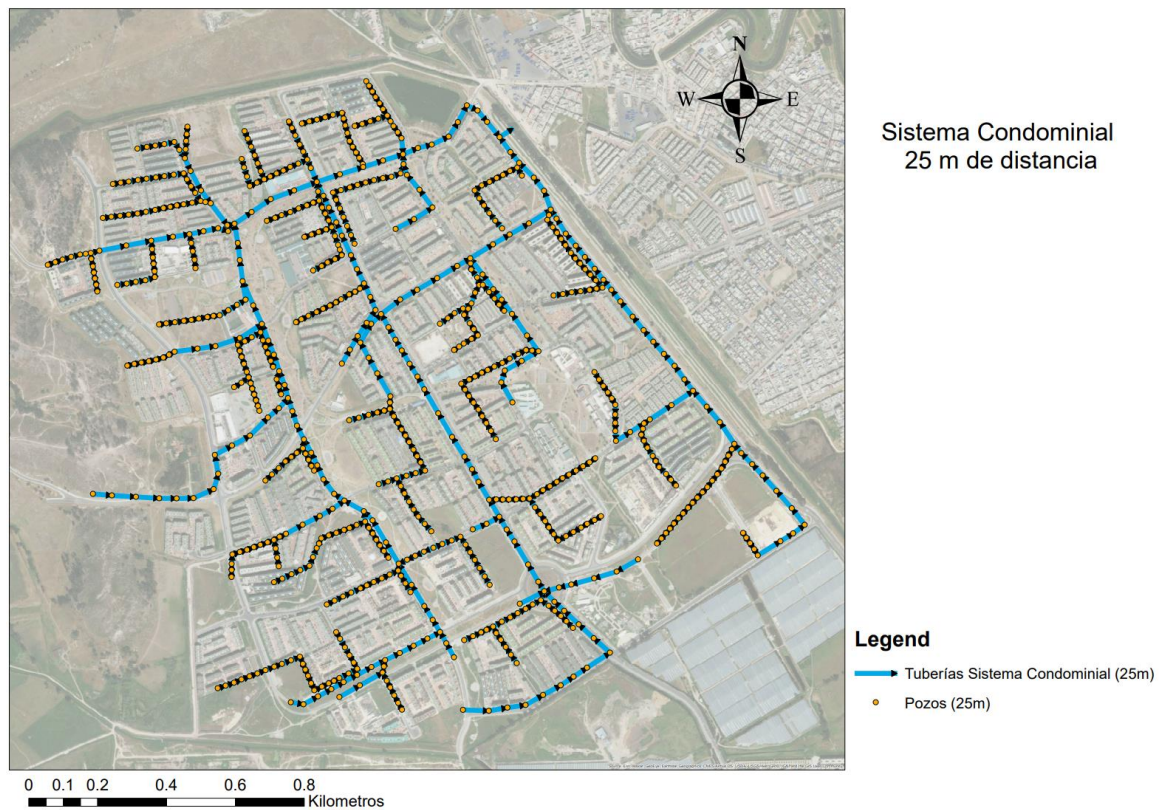


Figura 34 Sistema condominial con una distancia entre pozos de máximo 25 m

Las características de esta red son las siguientes:

Tabla 25 Características de la red condominial que cumple con los 25 m de distancia

Características		Total
Número de tuberías (-)	En toda la red	721
	En la red principal	217
	En la red secundaria	503
	Tipo Continuas	653
	Tipo Iniciales	67
Longitud de las tuberías (Km)	En toda la red	23.10
	En la red principal	11.27
	En la red secundaria	11.82
Número de pozos en total		720



Después de realizar el diseño en cada uno de los programas (SewerGems y UTOPIA) se obtuvieron los siguientes costos (ver Tabla 26), estos incluyen los costos de construcción y de las cámaras de inspección.

Tabla 26 Costos del sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia usando dos programas diferentes.

Costos	SewerGEMS	UTOPIA
Costo de construcción (\$USD)	\$ 24,452,758.18	\$ 25,108,353.63
Costo de las cámaras (\$USD)	\$ 51,247,194.49	\$ 55,499,932.63
Costo total (\$USD)	\$ 75,699,952.67	\$ 80,608,286.26

Como se puede observar en los resultados de los costos del sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia (ver Tabla 26), los costos del diseño en UTOPIA son 6.09% mayores que los costos obtenidos en SewerGems. Esta diferencia de costos se debe, principalmente, a los diámetros que pueden ser usados en ambos diseños. Como se mencionó anteriormente, en el programa UTOPIA se utilizó un diámetro mínimo de 200 mm, mientras que en SewerGems se utilizó un diámetro de 99 mm para las tuberías de las redes condominiales, esta diferencia de diámetro genera también una diferencia de costos. Por lo tanto, el sistema condominial realizado en UTOPIA es más costoso porque se utilizan tuberías de un mayor diámetro, y teniendo en cuenta que la ecuación de costos implementada (ver Ecuación 14) depende directamente del diámetro de la tubería, es correcto realizar esta afirmación.

Es importante mencionar que en los casos de Brasil, Bolivia y Perú, que fueron expuestos en la sección 3.2 de este trabajo, una de las principales problemáticas encontradas en este tipo de alcantarillado es la obstrucción de las tuberías, la cual se genera por el uso de tuberías de un diámetro muy pequeño o por la falta de mantenimiento del sistema. Por eso, aunque el sistema condominial en UTOPIA sea más costoso, se considera que este es mejor porque podría evitar la problemática más común en este tipo de alcantarillado, como lo es la obstrucción, ya que al usar un mayor diámetro es menos probable que este problema se genere.

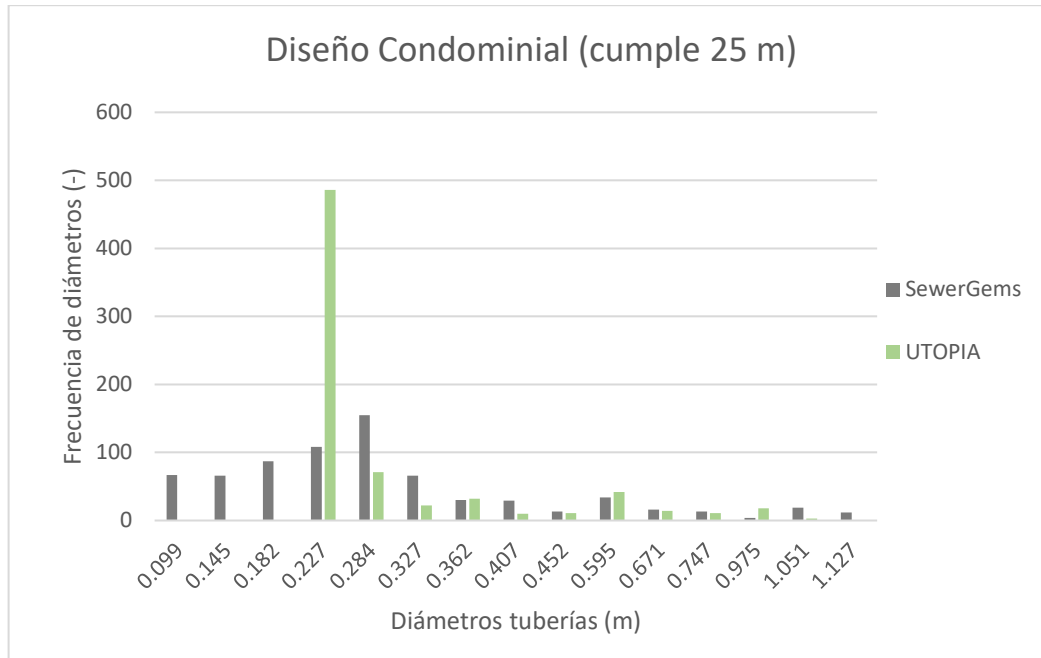


Figura 35 Distribución de diámetros del diseño condominial que cumple con los 25 m

En la Figura 35 se puede observar que en el diseño realizado por UTOPIA no fue posible implementar diámetros menores a 227 mm, mientras que en el diseño realizado en SewerGEMS el diámetro mínimo es de 99 mm, esto genera que exista una diferencia de costos entre ambos sistemas. Adicionalmente, se tiene que en el diseño de SewerGEMS se implementan tuberías de mayor diámetro, como lo son las de 1.051 m y 1.127 m, mientras que en UTOPIA el diámetro máximo usado en el diseño es de 0.975 m. En UTOPIA la mayoría de las tuberías son de 227 mm, en el resto del sistema se usan tuberías de menor diámetro que en el diseño en SewerGEMS.

6.2.2 Diseños que no cumplen con los 25 m de distancia entre los pozos

Después de realizar el trazado de la red, se ubicaron los pozos de toda la red. En este diseño no se cumplirá con la distancia mínima de 25 m entre los pozos, esto se realizó así para poder analizar que ocurre con los costos cuando se diseña con algunos parámetros del sistema convencional, tal y como lo es la distancia entre los pozos. Por esta razón, la distancia máxima entre los pozos es de 80 m y no de 25 m como lo estipula la Resolución 0330 del 2017 para el sistema condominial. En la Figura 36 se observa el sistema condominial que no cumple con la distancia máxima de 25 m.

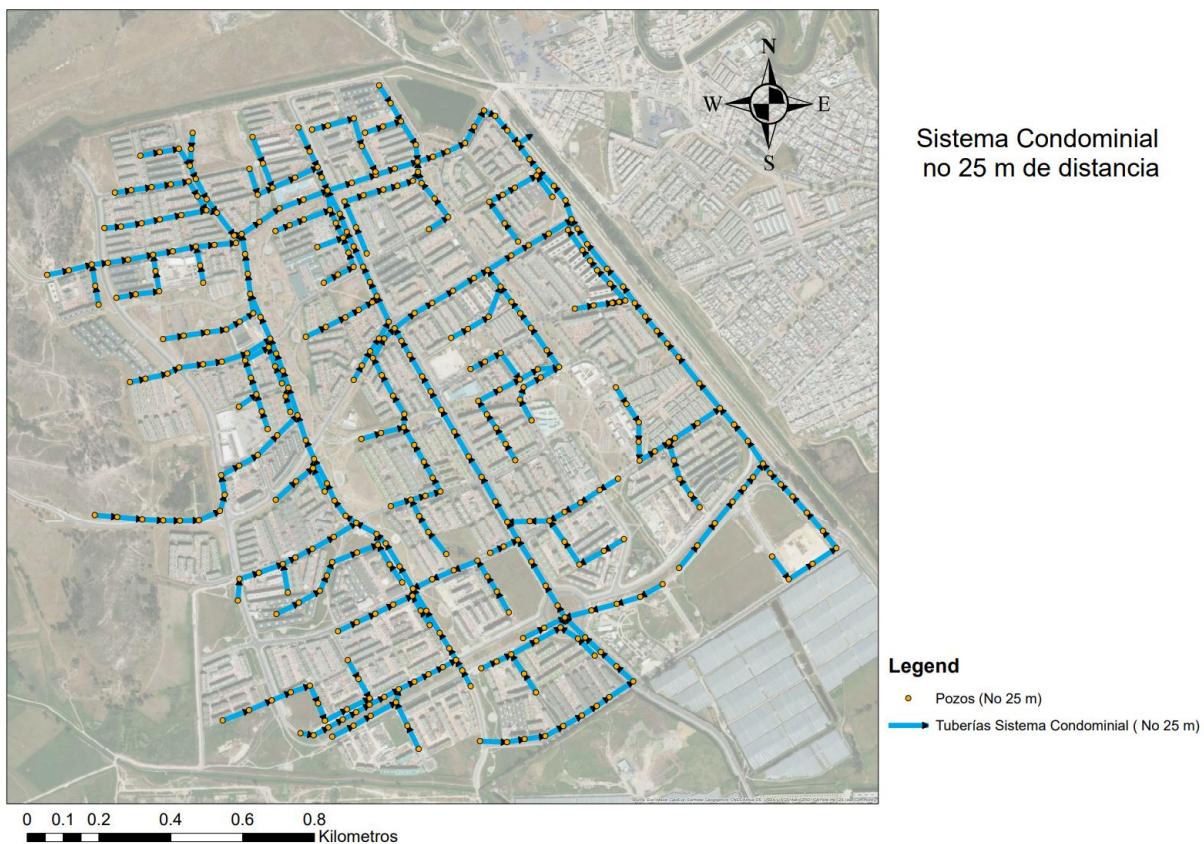


Figura 36 Sistema condominial con una distancia entre pozos de máximo 80 m

Las características de esta red son las siguientes:

Tabla 27 Características de la red condominial que no cumple son los 25 m de distancia

Características		Total
Número de tuberías (-)	En toda la red	409
	En la red principal	197
	En la red secundaria	212
	Tipo Continuas	344
	Tipo Iniciales	66
Longitud de las tuberías (Km)	En toda la red	23.10
	En la red principal	10.95
	En la red secundaria	12.14
Número de pozos en total		409



Después de realizar el diseño en cada uno de los programas (SewerGems y UTOPIA) se obtuvieron los siguientes costos (ver Tabla 28), estos incluyen los costos de construcción y de las cámaras de inspección.

Tabla 28 Costos del sistema condominial que no cumple con los 25 m de distancia usando dos programas diferentes.

	SewerGEMS	UTOPIA
Costo de construcción (\$USD)	\$ 24,684,963.31	\$ 25,379,394.15
Costo de las cámaras (\$USD)	\$ 30,554,436.50	\$ 32,442,125.73
Costo total (\$USD)	\$ 55,239,399.81	\$ 57,821,519.88

Como se puede observar en los resultados de los costos del sistema condominial que no cumple con los 25 m de distancia (ver Tabla 28), los costos del diseño en UTOPIA son 4% mayores que los costos obtenidos en SewerGems. Esta diferencia de costos se debe, principalmente, a los diámetros que pueden ser usados en ambos diseños. Como se mencionó anteriormente, en el programa UTOPIA se utilizó un diámetro mínimo de 200 mm, mientras que en SewerGems se utilizó un diámetro de 99 mm para las tuberías de las redes condominiales, esta diferencia de diámetro genera también una diferencia de costos. Por lo tanto, el sistema condominial realizado en UTOPIA es más costoso porque se utilizan tuberías de un mayor diámetro, y teniendo en cuenta que la ecuación de costos implementada (ver Ecuación 14) depende directamente del diámetro de la tubería, es correcto realizar esta afirmación.

Es importante mencionar que en los casos de Brasil, Bolivia y Perú, que fueron expuestos en la sección 3.2 de este trabajo, una de las principales problemáticas encontradas en este tipo de alcantarillado es la obstrucción de las tuberías, la cual se genera por el uso de tuberías de un diámetro muy pequeño o por la falta de mantenimiento del sistema. Por eso, aunque el sistema condominial en UTOPIA sea más costoso, se considera que este es mejor porque podría evitar la problemática más común en este tipo de alcantarillado, como lo es la obstrucción, ya que al usar un mayor diámetro es menos probable que este problema se genere.

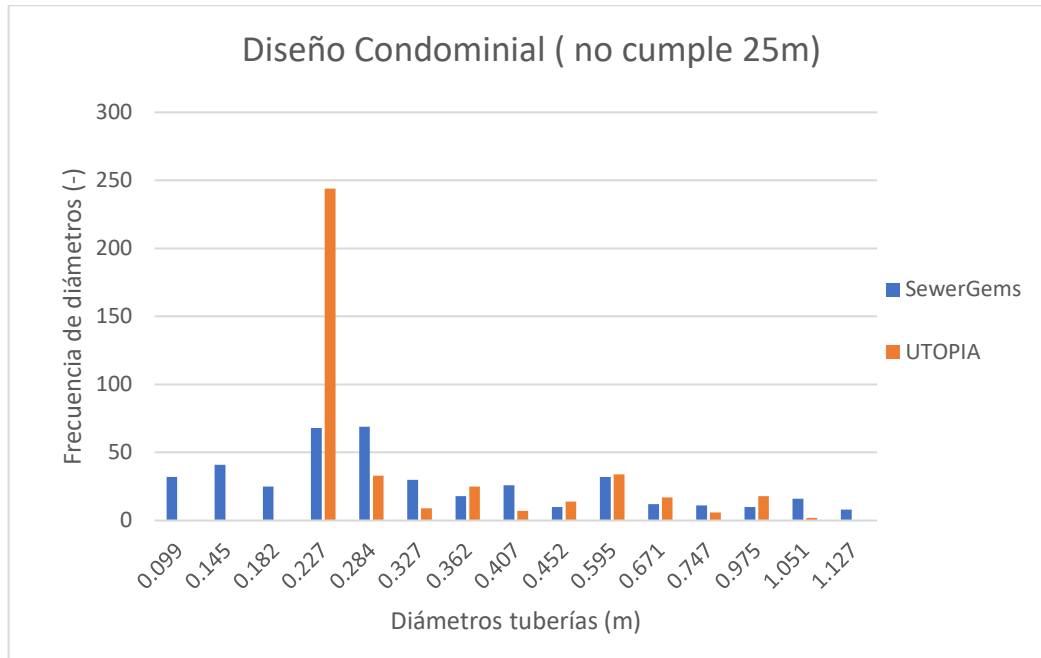


Figura 37 Distribución de diámetros de diseños condominiales que no cumplen con 25 m

En la Figura 37 se puede observar que en el diseño realizado por UTOPIA no fue posible implementar diámetros menores a 227 mm, mientras que en el diseño realizado en SewerGEMS el diámetro mínimo es de 99 mm, esto genera que exista una diferencia de costos entre ambos sistemas. Adicionalmente, se tiene que en el diseño de SewerGEMS se implementan tuberías de mayor diámetro, como lo son las de 1.127 m, mientras que en UTOPIA el diámetro máximo usado en el diseño es de 1.051 m. En UTOPIA la mayoría de las tuberías son de 227 mm, en el resto del sistema se usan tuberías de menor diámetro que en el diseño en SewerGEMS.

6.2.2 Comparación de los diseños condominiales

6.2.3.1 Trazado de la red

Al realizar el trazado del sistema condominial se cumplieron las siguientes condiciones: el flujo siempre tenía que ir por gravedad, es decir, a favor de la inclinación del terreno, además, se debía tener un número de tuberías muy similares al sistema convencional para poder comparar ambos sistemas, cada edificio tendrá cercanía a por lo menos una red principal o condominial, los parques o zonas verdes no serían rodeados por las tuberías y la mayoría de las tuberías tendrían que ser trazadas en la acera de las viviendas.

Con respecto al trazado de la red es necesario mencionar que se tuvieron múltiples problemas en la ubicación de los pozos, ya que el terreno de Ciudad Verde es muy plano y esto generaba que algunas tuberías estuvieran en contra pendiente. Al intentar solucionar esta problemática se tuvieron que eliminar algunos ramales condominiales que habían sido trazados en algunos



conjuntos. Por esta razón, en el diseño condominial no se tiene un ramal en cada uno de los edificios, pero se intentó que por lo menos una tubería se encontrara cerca del edificio, para así poder asegurar la evacuación de aguas residuales de cada residencia. Adicionalmente, se intentó que el trazado se realizara solo por la acera de las viviendas, ya que se asumió que estas ya estaban construidas y los otros trazados mencionados en el sistema condominial elevarían considerablemente los costos. No obstante, al intentar que todas las tuberías cumplieran con este trazado, se tenían algunas zonas en contrapendiente. Por esta razón, dentro del trazado existen dos tuberías que se diseñaron en el fondo de los lotes.

El trazado de la red para los cuatro diseños condominiales realizados fue igual, la única diferencia fue la ubicación de los pozos, ya que en los sistemas que si se cumplía con la distancia máxima de 25 m para los ramales condominiales, era necesario diseñar un mayor número de pozos para cumplir con esta condición.

6.2.3.2 Costos

En la Tabla 29 se encuentran los costos de los cuatro diseños condominiales realizados, tanto en SewerGEMS como en UTOPIA.

Tabla 29 Costos de los sistemas condominiales diseñados

Alcantarillado Condominial				
Diseño	<i>1. Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>2. Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>	<i>3. Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>4. Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>
Programa Usado	SewerGems		UTOPIA	
Costo Construcción (\$USD)	\$ 24,452,758.18	\$ 24,684,963.31	\$ 25,108,353.63	\$ 25,379,394.15
Costo cámaras (\$USD)	\$ 51,247,194.49	\$ 30,554,436.50	\$ 55,499,932.63	\$ 32,442,125.73
Costo Construcción y cámaras (\$USD)	\$ 75,699,952.67	\$ 55,239,399.81	\$ 80,608,286.26	\$ 57,821,519.88

Al analizar los costos de construcción de los sistemas de alcantarillado condominiales diseñados en SewerGEMS con los diseñados en UTOPIA, se puede observar que la diferencia es del 3%,



es decir, en SewerGEMS el costo de construcción es inferior ya que se están implementando tuberías con un diámetro mucho menor y esto está directamente relacionado con la ecuación de costos implementada (ver Ecuación 14).

Por otro lado, en los costos de las cámaras si se puede observar una gran diferencia entre los diseños que cumplen con los 25 m de distancia y los que no cumple. Esto se debe a que en los diseños que si se cumplen con tener una distancia máxima entre pozos de 25 m se implementan casi el doble de cámaras, lo cual genera un aumento considerable de estos costos. En SewerGEMS la diferencia entre los diseños llega a ser hasta de un 40%, por otro lado, en UTOPIA esta diferencia de costos es del 42%. Al comparar los costos de las cámaras en los diseños que si cumplen con la distancia máxima de 25 m la diferencia entre UTOPIA y SewerGEMS es del 8%.

Al analizar los costos totales (construcción y cámaras) se tiene que para ambos diseños en UTOPIA se obtuvieron costos superiores que los de SewerGEMS, en hasta un 6%. Lo anterior se debe a los diámetros de las tuberías que fueron implementados en cada uno de los programas. Adicionalmente, los diseños que cumplen con los 25 m de distancia tienen un costo demasiado elevado en comparación con el diseño condominial que no cumple con los 25 m de distancia, esto se debe a que en los sistemas condominiales deben existir cámaras en casi todas las viviendas para que estas puedan realizar su mantenimiento y esto genera una alta necesidad de cámaras, lo cual incrementa considerablemente los costos.

Se debe mencionar que los diseños condominiales que no cumplen con los 25 m de distancia entre pozos se realizaron para poder determinar si los costos del sistema condominial si son inferiores a los costos de los sistemas convencionales. Es decir, en el sistema convencional realizado por Amarillo se contaba con una distancia máxima entre pozos de 80 m, por lo tanto, se usó este mismo valor en los sistemas condominiales para así poder realizar una comparación económica más apropiada entre ambos sistemas. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar que los diseños condominiales que no cumplen con los 25 m de distancia, es decir, que implementan algunos parámetros del sistema convencional son más económicos que el diseño condominial.

6.3 Comparación entre el diseño convencional optimizado y el condominial.

Para realizar una comparación entre el diseño convencional optimizado y el diseño condominial se usará un esfuerzo cortante de 1.0 Pa, ya que este parámetro es común para ambos sistemas. El costo del sistema convencional optimizado realizado en UTOPIA con este esfuerzo cortante está en la Tabla 30.



Tabla 30 Costos del sistema convencional optimizado (1.0 Pa)

Sistema convencional optimizado	
Programa usado	UTOPIA
Parámetros de diseños usados	Resolución 0330 del 2017 (1.0 Pa)
Costos de construcción (\$USD)	\$ 23,372,199.59
Costos de cámaras (\$USD)	\$ 30,171,747.94
Costo total (\$USD)	\$ 53,543,947.53

6.3.1 Trazado de la red

En la Figura 38 se puede observar las diferencias que existen entre el trazado del sistema convencional y el sistema condominial. La mayor parte de la red principal es la misma, esto se debe a que fueron trazadas en las vías principales de la zona para facilitar su construcción y porque en estas zonas la pendiente del terreno era la adecuada para el diseño. Por lo tanto, la mayor diferencia se encuentra en el trazado de los ramales condominiales, ya que en el sistema condominial se intentó que por una misma calle o calles muy cercanas no se trazaran dos tuberías diferentes, esto con el fin de poder disminuir los costos, mientras que en el trazado del sistema convencional no se tiene esta restricción. Adicionalmente, en el sistema condominial no se diseñaron tuberías que rodearan los parques o las zonas verdes, ya que no se consideró necesario, pero en el sistema convencional si hay tuberías en estas zonas. Por otro lado, en el sistema condominial se realizaron más tuberías que se encontraran dentro de las edificaciones, mientras que en el sistema convencional la mayoría de las tuberías se encuentran en las calles. Finalmente, se logró que el sistema condominial y sistema convencional tuvieran una longitud de tuberías total muy cercana, esto con el fin de poder comparar ambos sistemas.

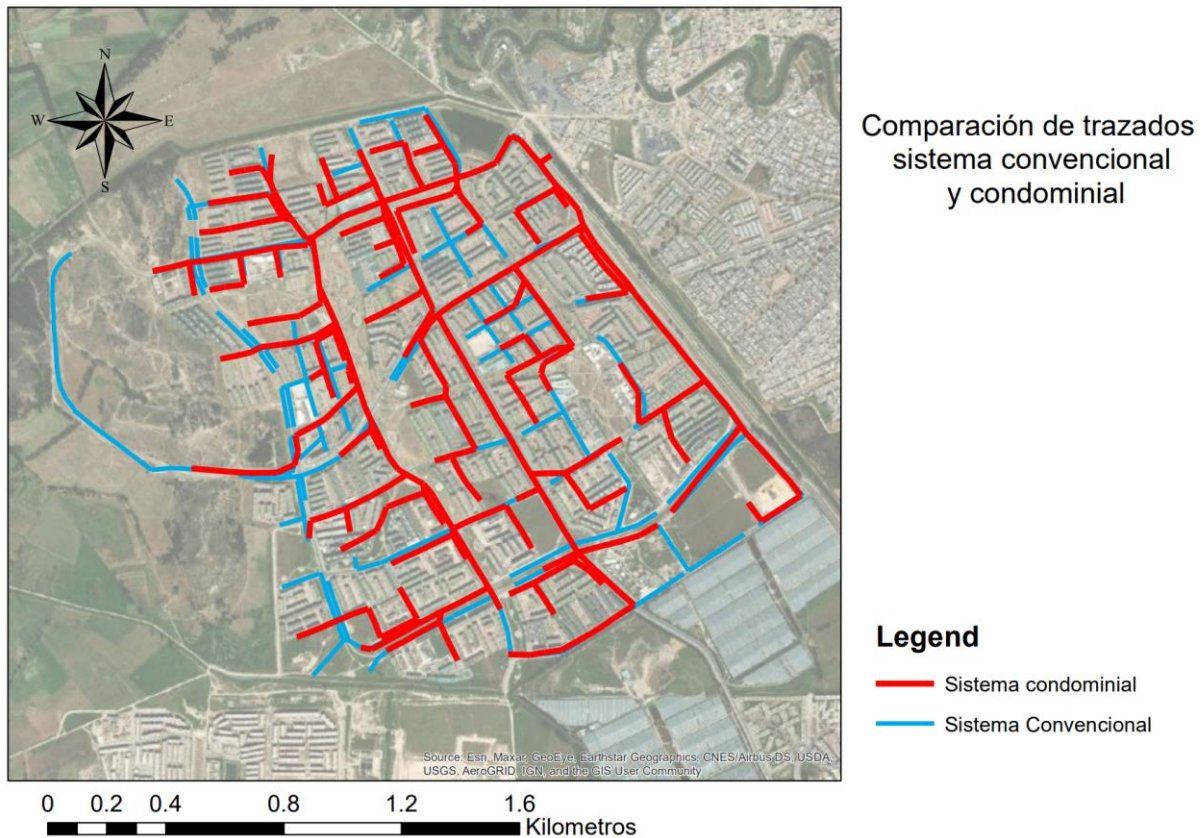


Figura 38 Comparación del trazado entre el sistema convencional y el sistema condominial

6.3.2 Restricciones de diseño

Como se mencionó anteriormente, la principal diferencia entre el sistema condominial y el sistema convencional son sus restricciones de diseño, ya que en el sistema condominial se pueden usar tuberías de menor diámetro, profundidades desde el terreno hasta la cota clave de la tubería inferiores y la relación de llenado es menor. Al investigar las consecuencias que tienen estos cambios de restricciones en el sistema condominial se analizó que los problemas de este sistema, en su mayoría, son generados por el uso de diámetros muy pequeños y por la poca profundidad en la que están ubicadas las tuberías.

En el sistema convencional el diámetro mínimo permitido es de 200 mm, mientras que en el sistema condominial es de 100 mm, esta diferencia de tamaño genera una mayor probabilidad de falla en las tuberías, las cuales son ocasionadas por la falta de mantenimiento del sistema por parte de la comunidad o por el uso de la red como un sistema combinado. El segundo problema frecuente de los sistemas condominiales es la ruptura de las tuberías, lo cual se genera por la poca profundidad de estas en el terreno.



Al cambiar el diámetro de las tuberías y al permitir una menor profundidad de la red, se consideraba que el sistema condominial tendría una reducción de costos considerable con respecto al sistema convencional, no obstante, se deben tener en cuenta los costos del mantenimiento de los dos problemas mencionados anteriormente. Puede que el costo de construcción sea inferior, pero los costos relacionados con el mantenimiento y/o cambio de tuberías puede incrementar los costos considerablemente, y esto generaría que este sistema no sea el adecuado para zonas con bajos recursos económicos. Por esta razón, en este trabajo, además, de analizar los costos de construcción se tuvieron en cuenta los costos de mantenimiento de cada una de las redes diseñadas.

6.3.3 Flujos de caja con los costos iniciales y mantenimiento.

Para determinar los costos de mantenimiento se asumió que anualmente un 10% de las tuberías de cada uno de los sistemas presentaría una falla y, por lo tanto, era necesario realizarles mantenimiento. Esto quiere decir que en los sistemas convencionales anualmente fallarían 42 tuberías, en el sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia fallarían 72 tuberías y el sistema condominial que no cumple con los 25 m fallarían 41 tuberías. Con estos valores fue posible determinar los costos anuales de mantenimiento para cada uno de los diseños realizados.

Por otro lado, se calculó la población beneficiada que se tendrá al final del periodo de diseño (20 años), ya que este es un parámetro que será utilizado para calcular el indicador de costo-efectividad. Según Amarilo, la población por vivienda sería de 4.5 y en total se tendrán 52,500 viviendas en Ciudad Verde. Eso quiere decir que para el último año se tendrán 236,250 habitantes.

En la Tabla 31 se observa el flujo de caja del sistema convencional realizado por Amarilo y el sistema convencional optimizado realizado en UTOPIA. En el flujo de caja se incluye la inversión inicial y el costo de mantenimiento del sistema en los 20 años.

Tabla 31 Flujo de caja para el sistema convencional

SISTEMA CONVENCIONAL				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversion Amarilo (\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
0	\$ 62,422,726.85	\$ 53,543,947.53		
1	-	-	\$ 1,452,402.65	11813
2	-	-	\$ 1,452,402.65	23625
3	-	-	\$ 1,452,402.65	35438
4	-	-	\$ 1,452,402.65	47250
5	-	-	\$ 1,452,402.65	59063



SISTEMA CONVENCIONAL				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversion Amarilo (\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
6	-	-	\$ 1,452,402.65	70875
7	-	-	\$ 1,452,402.65	82688
8	-	-	\$ 1,452,402.65	94500
9	-	-	\$ 1,452,402.65	106313
10	-	-	\$ 1,452,402.65	118125
11	-	-	\$ 1,452,402.65	129938
12	-	-	\$ 1,452,402.65	141750
13	-	-	\$ 1,452,402.65	153563
14	-	-	\$ 1,452,402.65	165375
15	-	-	\$ 1,452,402.65	177188
16	-	-	\$ 1,452,402.65	189000
17	-	-	\$ 1,452,402.65	200813
18	-	-	\$ 1,452,402.65	212625
19	-	-	\$ 1,452,402.65	224438
20	-	-	\$ 1,452,402.65	236250

En la Tabla 32 se observa el flujo de caja del sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia en los dos programas usados (SewerGems y UTOPIA). En el flujo de caja se incluye la inversión inicial y el costo de mantenimiento del sistema en los 20 años.

Tabla 32 Flujo de caja del sistema condominial que cumple 25 m de distancia

SISTEMA CONDOMINIAL CUMPLE 25 M DE DISTANCIA				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversión SWERGEMS (\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
0	\$ 75,699,952.67	\$ 80,608,286.26		
1	-	-	\$ 2,727,485.52	11813
2	-	-	\$ 2,727,485.52	23625
3	-	-	\$ 2,727,485.52	35438
4	-	-	\$ 2,727,485.52	47250
5	-	-	\$ 2,727,485.52	59063
6	-	-	\$ 2,727,485.52	70875
7	-	-	\$ 2,727,485.52	82688
8	-	-	\$ 2,727,485.52	94500
9	-	-	\$ 2,727,485.52	106313
10	-	-	\$ 2,727,485.52	118125



SISTEMA CONDOMINIAL CUMPLE 25 M DE DISTANCIA				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversión SWERGEMS (\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
11	-	-	\$ 2,727,485.52	129938
12	-	-	\$ 2,727,485.52	141750
13	-	-	\$ 2,727,485.52	153563
14	-	-	\$ 2,727,485.52	165375
15	-	-	\$ 2,727,485.52	177188
16	-	-	\$ 2,727,485.52	189000
17	-	-	\$ 2,727,485.52	200813
18	-	-	\$ 2,727,485.52	212625
19	-	-	\$ 2,727,485.52	224438
20	-	-	\$ 2,727,485.52	236250

En la Tabla 33 se observa el flujo de caja del sistema condominial que no cumple con los 25 m de distancia en los dos programas usados (SewerGems y UTOPIA). En el flujo de caja se incluye la inversión inicial y el costo de mantenimiento del sistema en los 20 años.

Tabla 33 Flujo de caja del sistema condominial que no cumple 25 m de distancia

SISTEMA CONDOMINIAL NO CUMPLE 25 M DE DISTANCIA				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversión SewerGEMS(\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
0	\$ 55,239,399.81	\$ 57,821,519.88		
1	-	-	\$ 1,553,151.48	11813
2	-	-	\$ 1,553,151.48	23625
3	-	-	\$ 1,553,151.48	35438
4	-	-	\$ 1,553,151.48	47250
5	-	-	\$ 1,553,151.48	59063
6	-	-	\$ 1,553,151.48	70875
7	-	-	\$ 1,553,151.48	82688
8	-	-	\$ 1,553,151.48	94500
9	-	-	\$ 1,553,151.48	106313
10	-	-	\$ 1,553,151.48	118125
11	-	-	\$ 1,553,151.48	129938
12	-	-	\$ 1,553,151.48	141750
13	-	-	\$ 1,553,151.48	153563
14	-	-	\$ 1,553,151.48	165375
15	-	-	\$ 1,553,151.48	177188



SISTEMA CONDOMINIAL NO CUMPLE 25 M DE DISTANCIA				
<i>Periodo (años)</i>	<i>Inversion SewerGEMS(\$USD)</i>	<i>Inversión UTOPIA (\$USD)</i>	<i>Mantenimiento (\$USD)</i>	<i>Población beneficiada (Hab)</i>
16	-	-	\$ 1,553,151.48	189000
17	-	-	\$ 1,553,151.48	200813
18	-	-	\$ 1,553,151.48	212625
19	-	-	\$ 1,553,151.48	224438
20	-	-	\$ 1,553,151.48	236250

Es importante mencionar que uno de los principios del sistema condominial es que la población realice el mantenimiento y esto ayuda a que el estado o la empresa no asuma estos costos. Sin embargo, para poder comparar detalladamente el sistema condominial con el sistema convencional, se asumió que la población no ayudaría en el mantenimiento de las tuberías. Además, en la literatura se menciona que la principal problemática de los sistemas condominiales es que la población no realiza adecuadamente y/o periódicamente el mantenimiento del sistema, y esto genera un mayor número de fallas en las tuberías. Por esta razón, la aproximación de costos realizada para el sistema condominial no es muy lejana a lo que podría ocurrir en la realidad.

En los flujos de caja realizados se puede observar que los costos de mantenimiento de los sistemas condominiales son un poco mayores que los costos de mantenimiento del sistema convencional. Para el sistema convencional se obtuvo un costo de USD\$ 1,452,402.65 para 42 tuberías, mientras que para el sistema condominial para 41 tuberías se obtuvo un costo de USD\$ 1,553,151.48, por lo tanto, el sistema condominial es 6% más costoso que el sistema convencional en términos de costos de mantenimiento. Por otro lado, el sistema condominial que cumple con los 25 m de distancia tiene un costo de mantenimiento mucho más elevado (USD\$ \$ 2,727,485.52), pero este se debe a que el número de tuberías afectadas es casi el doble en comparación con los otros sistemas (72 tuberías podrían fallar).

El costo de mantenimiento por tubería para el sistema convencional es de USD\$ 34,581.02 y para el sistema condominial es de USD \$ 37,881.74. La diferencia de costos por tubería no es muy grande, sin embargo, en el sistema condominial se cuenta casi con el doble de tuberías que en el sistema convencional y esto genera un incremento de costos bastante considerable. Como se observa en los flujos de caja del sistema condominial la diferencia de los costos de mantenimiento entre el sistema en el que si se cumplen con los 25 m de distancia entre los pozos y el que no cumple con este parámetro es del 43%. Por lo tanto, al cumplir con todos los parámetros de diseño del sistema condominial puede que si se tenga un costo de construcción inferior al del sistema convencional, no obstante, los costos de mantenimiento se elevan



considerablemente porque existe un mayor número de tuberías que pueden presentar fallas a lo largo de los años de operación.

6.3.4 Evaluación social

Para el cálculo del ratio costo efectividad (CE) (ver sección de **Evaluación Social**) se determinó que todos los diseños beneficiaban en promedio a la misma cantidad de personas, es decir, la diferencia entre cada diseño era el VACSN (valor actual social neto). Por lo tanto, entre menor sea el indicador quiere decir que existe una mayor efectividad a un menor costo, es decir, la alternativa con menor CE sería la más costo-efectiva en comparación con las otras.

Al implementar el indicador de ratio costo efectividad para los seis diseños realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 34 Indicador ratio costo efectividad para cada uno de los diseños

	Alcantarillado Convencional		Alcantarillado Condominial			
Diseño	<i>1.Convencional Realizado por Amarilo</i>	<i>2.Convencional optimizado (1.0 Pa)</i>	<i>3.Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>4.Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>	<i>5.Condominial cumpliendo 25 m de distancia</i>	<i>6.Condominial sin cumplir 25 m de distancia</i>
Programa Usado	-	UTOPIA	SewerGems		UTOPIA	
C.E (\$USD/usuario)	\$ 590.75	\$ 519.16	\$ 774.59	\$ 538.90	\$ 814.16	\$ 559.72

En la Tabla 34 se encuentran los resultados del indicador para cada uno de los alcantarillados. Al analizar los diseños condominiales se observa que el CE del diseño condominial que cumple con los 25 metros de distancia realizado en UTOPIA fue el mayor de los cuatro diseños, por otro lado, el diseño condominial con menor CE fue el que no cumple con los 25 metros de distancia realizado en SewerGEMS. Adicionalmente, los diseños condominiales realizados en SewerGEMS tienen un menor ratio costo efectividad, lo cual se debe a que la inversión inicial de esos alcantarillados es inferior ya que pueden implementar tuberías de menor diámetro que los diseños realizados en UTOPIA. Por otro lado, los diseños que no cumplen con los 25 m de distancia también tienen un CE inferior en comparación con los otros diseños condominiales, ya que el costo de las cámaras (costo de inversión) disminuye considerablemente al no cumplir con esta restricción de diseño. Al analizar los diseños convencionales se obtuvo que el CE menor fue para el diseño convencional optimizado usando un esfuerzo cortante de 1.0 Pa porque la inversión inicial de este sistema disminuye por implementar más tuberías de un diámetro inferior.

Como se puede observar en los resultados, los diseños condominiales en los que se cumple con los 25 m de distancia entre los pozos tienen los mayores CE, esto se debe al elevado costo de inversión que es generado por cada uno de los pozos. Por lo tanto, cumplir con la restricción de



diseño que se encuentra en la Resolución 0330 del 2017 eleva los costos de inversión y los costos de mantenimiento, ya que se debe construir un mayor número de cámaras y esto genera que el número de tuberías o pozos que pudieran presentar fallas fuera mayor.

Teniendo en cuenta que la mejor alternativa de diseño sería aquella que tuviera el CE menor, se puede analizar que entre los sistemas condominiales la mejor alternativa es el sistema condominial que no cumple con los 25 metros de distancia que fue realizado en SewerGEMS. Ahora bien, al analizar el sistema convencional y el sistema condominial se puede observar que la alternativa con menor ratio costo efectividad es el sistema convencional optimizado que fue realizado en UTOPIA. Esto quiere decir que el sistema convencional optimizado es la mejor alternativa ya que beneficia a la misma población y tiene un menor costo de inversión y mantenimiento a lo largo del periodo de diseño (20 años).

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Una de las grandes prioridades, a nivel mundial, es poder brindar agua potable y servicio de alcantarillado a toda la población, ya que esto ayudaría a disminuir problemas en la salud y en el medio ambiente. El mayor reto se encuentra en los países en vía de desarrollo porque se tiene una baja cobertura del sistema y existen múltiples dificultades económicas. Como solución en los últimos años se han generado alcantarillados no convencionales, que pretenden disminuir los costos económicos y brindar el servicio a la mayor cantidad de personas posibles. Dentro de los alcantarillados no convencionales más comunes se encuentra el condominial, simplificado y sin arrastre de sólidos.

En América Latina, uno de los alcantarillados no convencionales más implementado es el condominial, el cual se diferencia del convencional porque este no requiere de grandes profundidades de excavación, implementa diámetros de tubería inferiores y la comunidad tiene una participación en la elección, desarrollo y mantenimiento del sistema. En la literatura se ha demostrado que estas diferencias en el diseño y operación del sistema generan que este tenga un costo inferior al alcantarillado convencional y, por esta razón, es comúnmente usado en países como Brasil, Perú y Bolivia. Sin embargo, en diferentes fuentes bibliográficas también se menciona que uno de los principales problemas del sistema condominial es que debe existir una constante participación de la comunidad para que así se pueda asegurar el éxito del alcantarillado. Por lo tanto, se deben hacer constantes reuniones con la comunidad para capacitarla, además, esta debe estar comprometida en hacer el mantenimiento del alcantarillado periódicamente. Es por esta razón que se considera que el sistema condominial trae múltiples beneficios, no obstante, a largo plazo no es muy viable.

Para poder ejemplificar la diferencia en los costos de construcción entre un alcantarillado convencional y uno condominial, se escogió un trabajo realizado en Brasil y otro en Perú. En



primer lugar, en la investigación realizada por Mezzomo (2019) para una ciudad de Brasil, se realizó el diseño condominial y convencional para dos escenarios diferentes, en el primero se tiene un elevado gradiente topográfico y el segundo es totalmente lo opuesto. Como resultado se obtuvo que en el escenario 1 el sistema condominial es 26% más económico que el sistema convencional, para el escenario 2 se obtuvo una reducción del costo del 31% con el sistema condominial. Para el ejemplo de Perú se referenció el trabajo hecho por Ramos (2018) en este también se realiza una comparación económica entre ambos alcantarillados. Como resultado obtuvo que el alcantarillado condominial es 32% más económico que el alcantarillado convencional.

Aunque se sepa que uno de los mayores beneficios del alcantarillado condominial es la reducción en los costos de construcción, hay diferentes fuentes bibliográficas que afirman que este tipo de alcantarillado no es una solución viable a largo plazo, esto se debe a sus altos costos de mantenimiento. En la investigación realizada por Silva (2018) se determinan los costos de mantenimiento en Natal para el sistema de alcantarillado convencional y condominial. Como resultado obtuvo que en el alcantarillado condominial existen más solicitudes de mantenimiento que en el convencional porque existen más obstrucciones en el sistema, esto genera que el costo de mantenimiento en el condominial sea 18.5% más costo que el convencional. Por lo tanto, al tener periodos de diseño de 15 a 30 años del alcantarillado condominial, se puede concluir que a largo plazo se podría generar un colapso en la compañía de aguas y unos costos de mantenimiento más elevados que los obtenidos en el alcantarillado convencional.

Para poder realizar una comparación entre el alcantarillado convencional y el alcantarillado convencional optimizado se implementó como caso de estudio un Macroproyecto de Soacha, Ciudad Verde. Al realizar el diseño optimizado del alcantarillado con dos restricciones de diseño diferentes, una usando la normativa colombiana y otra implementando los valores mínimos que se usaron en Amarilo, fue posible determinar que cualquiera de los diseños optimizados es más económico que el diseño convencional. El costo del diseño convencional fue de \$ 1,212,425,670.51, mientras que el optimizado usando los parámetros de la constructora fue de \$ 907,935,791.33 y el diseño con la normativa de \$ 930,678,392.07. Por lo tanto, el diseño convencional es 25.11% más costoso que el diseño optimizado aplicando las mismas restricciones de diseño y 23.3% más costoso que el diseño optimizado con la normativa. Por lo tanto, se debería considerar comenzar a implementar un diseño convencional optimizado para la construcción de los sistemas de alcantarillado ya que estos sirven para reducir los costos.

Así mismo, con el caso de estudio se pudo evidenciar que cambiar algunas restricciones de diseño puede generar una disminución de los costos. Para los diseños optimizados se cambiaron los parámetros del esfuerzo cortante mínimo y la profundidad de excavación mínima, el primero se redujo de 1.2 Pa a 0.75 Pa y el segundo parámetro de 1.2 m a 0.82 m. Con estos pequeños cambios en las restricciones fue posible reducir los costos un 2.4%. No obstante, al revisar la normativa colombiana se recomienda que el valor del esfuerzo cortante mínimo no sea



cambiado ya que esto podría tener afectaciones en el funcionamiento de la tubería por la acumulación de sedimentos y no se tienen soluciones para evitar esta problemática si se implementa un esfuerzo cortante menor a 1.2 Pa. Esto mismo no ocurre con la profundidad a la cota clave de la tubería porque en la norma se mencionó que si se incumple con la restricción de profundidad mínima es posible implementar estructuras que eviten su ruptura. Adicionalmente, al cambiar la profundidad mínima no se vieron cambios en el diseño optimizado porque se tuvo como mínima profundidad en ambos casos el valor de 1.2 m.

Al realizar el trazado del sistema condominial se tuvieron múltiples problemáticas con la pendiente del terreno en Ciudad Verde ya que esta era muy plana y generaba que múltiples tuberías estuvieran en contra pendiente. Por esta razón, no fue posible realizar ramales condominiales en cada uno de los conjuntos, sin embargo, se aseguró que en cada edificio existiera una tubería cercana en la cual se pudieran drenar las aguas. Adicionalmente, se realizaron cuatro diseños diferentes del sistema condominial, dos en SewerGEMS y dos en UTOPIA, para poder comparar los costos en dos programas diferentes que implementan dos restricciones de diseño distintas.

Al analizar los costos totales de los cuatro diseños del sistema condominial se puede observar que en SewerGEMS se obtuvieron costos hasta 6% inferiores que los obtenidos en UTOPIA. Lo anterior se debe a que en UTOPIA no es posible diferenciar las tuberías principales de los ramales condominiales, es decir, no se pudo correr el programa con un diámetro menor a 200 mm porque esto podía generar que hasta tuberías de la red principal usaran diámetros inferiores a lo establecido en la norma y este no sería un diseño correcto. Esto generó un incremento de costos de los diseños realizados en UTOPIA.

Por otro lado, se puede observar que tanto en UTOPIA como en SewerGEMS la diferencia de costos totales entre el diseño que sí cumple con los 25 m de distancia entre pozos y el diseño que no cumple con esta distancia establecida es muy grande. Esto se debe a que en el diseño que si se cumple con los 25 m de distancia existe casi el doble de pozos en comparación con los otros diseños y esto genera un aumento considerable de los costos. Teniendo en cuenta que en el sistema convencional no existe este valor como restricción, se puede concluir que en los sistemas condominiales se tendrán costos superiores si se cumple con este parámetro de distancia máxima en comparación con los sistemas convencionales. Por lo tanto, aunque en los sistemas condominiales se implementen diámetros menores y sea posible realizar el trazado de la red en otras zonas diferentes a las establecidas en los sistemas convencionales, se deben considerar los costos adicionales generados por un incremento en el mantenimiento y el número de cámaras.

Al comparar los costos del sistema condominial y el sistema convencional optimizado diseñado con un esfuerzo cortante de 1.0 Pa se obtuvieron los siguientes resultados: el diseño condominial que no cumple con los 25 m de distancia en SewerGems y UTOPIA es 3% y 7%, respectivamente, más costoso que el diseño convencional optimizado. Por otro lado, el diseño



condominial que cumple con los 25 m de distancia en SewerGems y UTOPIA es 29% y 34%, respectivamente, más costoso que el diseño convencional optimizado. Por lo tanto, el diseño convencional optimizado tiene un costo de construcción y de cámaras inferior a todos los diseños condominiales realizados.

Al determinar lo costos de mantenimiento por tubería para cada uno de los sistemas se obtuvo que en el sistema convencional el costo es de USD\$ 34,581.02, mientras que en el sistema condominial es de USD \$ 37,881.74. Uno de los principios del sistema condominial es que la población se haga responsable del mantenimiento del sistema, no obstante, para poder comparar los sistemas convencionales y condominiales se asumió que todos los costos de mantenimiento serían responsabilidad de la empresa constructora.

En los flujos de caja del sistema condominial se puede observar que los costos de mantenimiento del sistema condominial que si cumple con los 25 m de distancia es 43% mayor a los costos del sistema condominial que no cumple con esta restricción. Por lo tanto, al cumplir con todas las restricciones de diseño del sistema condominial que se encuentran en la norma colombiana puede que se tengan menores costos de construcción que en el sistema convencional, no obstante, los costos de mantenimiento y los costos de inversión relacionados con las cámaras son superiores. Por esta razón, es necesario analizar detalladamente los costos relacionados con los sistemas condominiales, para así determinar si estos disminuyen considerablemente en comparación con los sistemas convencionales.

El indicador para realizar la evaluación social escogido fue el ratio costo-efectividad (CE). Al determinar este indicador para los seis diseños realizados se obtuvo que el diseño del sistema convencional optimizado tiene un menor CE en comparación con todos los sistemas condominiales. Esto quiere decir que esta alternativa tiene una mayor efectividad a un menor costo a lo largo del periodo de diseño (20 años). A partir de lo anterior, fue posible analizar que los diseños condominiales no son adecuados para ser realizados en Ciudad Verde.

7.2 Recomendaciones

Para próximos trabajos relacionados con este tema, se recomienda seleccionar otra área de estudio en donde sea posible diseñar ramales condominiales en cada uno de los conjuntos, es decir, que la pendiente del terreno no sea tan plana como en el caso de Ciudad Verde. Además, se recomienda que los costos de mantenimiento del sistema condominial sean extraídos de información nacional y no de información extranjera, ya que esto genera incertidumbre en los valores implementados, sin embargo, para este trabajo no fue posible encontrar esta información ya que hasta el 2021 no han sido construidos sistemas condominiales en el país.

Con respecto a los sistemas condominiales se recomienda que los costos de mantenimiento se disminuyan en un cierto porcentaje, ya que lo ideal sería que la comunidad beneficiada ayudara en este procedimiento y esto genera que estos costos no sean tan altos a los calculados en este



trabajo. Además, se recomienda buscar información adicional para saber más detalladamente cuál es el porcentaje de tuberías del sistema condominial y convencional que presentan fallas anualmente.

Por otro lado, se recomienda que en próximos trabajos se realice un análisis más detallado de los costos de construcción, por ejemplo, incluir los costos según el tipo de suelo, maquinaria necesaria, excavación de las zanjas, estudios previos, entre otros. Finalmente, se recomienda que se realice el cálculo de caudal para cada una de las tuberías, teniendo en cuenta lo que se encuentra en la norma colombiana, es decir, determinar el caudal residual, caudal de infiltración, entre otros.

8. REFERENCIAS

- Aguilar, A. (2019). *MODELO DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO PARA EL DISEÑO DE REDES DE DRENAJE URBANO*. Universidad de los Andes.
- Amarilo. (2020). *Ciudad Verde- Soacha*.
http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Areas_Verdes_Bogota/Bogota_Ciudad_Estadisticas_N4-SDP-2009.pdf
- Bizier, P. (2007). *Gravity Sewer Design and Construction*.
- Butler, D., & Davies, J. (2009). *Urban Drainage* (Spon Press).
- Castillo, D. M., Rojas, J. F., Puerto, C. F., Villalba, N. A., & Córdoba, D. C. (2019). Estudio sectorial de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado 2018. In *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- CIACUA. (2013). *Diseño Optimizado en Redes de Alcantarillado: Desarrollo de Técnicas Computacionales Exhaustivas para el Diseño Optimizado de Redes de Drenaje Urbano*.
- Costa, A. (1994). *Análise histórica do saneamento no Brasil*. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca.
- Criollo, S. (2021). *Comparación técnica y financiera entre alcantarillado optimizado y alcantarillado condominial*. Universidad de los Andes.
- de Sousa, A. C. A., & Costa, N. do R. (2016). Política de saneamento básico no Brasil: Discussão de uma trajetória. *Historia, Ciencias, Saude - Manguinhos*, 23(3), 615–634.
<https://doi.org/10.1590/S0104-59702016000300002>
- DNP. (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible- Indicador 6.2.1*.
https://www.ods.gov.co/es/data-explorer?state=%7B%22goal%22%3A%226%22%2C%22indicator%22%3A%226.2.1.P%22%2C%22dimension%22%3A%22DES_GEO_DEPTOS%22%2C%22view%22%3A%22line%22%7D



- Duque, N. (2015). *Metodología para el diseño optimizado de redes de alcantarillado*. Universidad de los Andes.
- Garrido, J. (2008). *Análisis comparativo de los sistemas de alcantarillados (convencional y no convencional) de aguas residuales domésticas*.
- Instituto Nacional de Salud. (2018). *Enfermedad diarreica aguda (EDA) Colombia, 2018*.
- Lampoglia, T., & Rolim, S. (2006). *Alcantarillado condominial: una estrategia de saneamiento para alcanzar los objetivos del milenio en el contexto de los municipios saludables*.
- Mejía, R. (1993). Redes de Alcantarillado Simplificado. In *Universidad de Antioquia*.
- Melo, J. (1994). *Sistema Condominial de Esgotos: Razões, Teoria e Prática*.
- Melo, J. (2005). *La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil*.
- Mezzomo, V. (2019). *ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS CONDOMINIAL E CONVENCIONAL DO TIPO SEPARADOR ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Odige, J. (2015). Harmful effects of wastewater disposal into water bodies: a case review of the Ikpoba river, Benin city, Nigeria. *Tropical Freshwater Biology*, 23(1), 87.
<https://doi.org/10.4314/tfb.v23i1.5>
- OMS. (2005). *Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud*.
https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/es/
- OMS. (2019). *Saneamiento. Datos y cifras*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Peinado Calao, C. (2016). Ecuaciones de costo para el diseño optimizado de redes de agua potable y alcantarillado. *Instname: Universidad de Los Andes*.
<http://hdl.handle.net/1992/13956>
- Ramos, J. . (2018). *Análisis comparativo técnico – económico de la red de alcantarillado condominial y convencional en el centro poblado menor de Carhuacatac, distrito de Tarma, provincia de Tarma, departamento de Junín*. Universidad Católica.
- RAS. (2017). *Resolución 0330 - 2017* (p. 182).
<http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>
- Rocha, L. (2017). *ANÁLISE DOS CUSTOS DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO TIPO CONDOMINIAL DO BAIRRO*



DE SANTOS REIS , NATAL-RN NATAL-RN. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

Salcedo, C. (2012). *Diseño optimizado de sistemas de alcantarillado utilizando el concepto de resiliencia y potencia unitaria*.

Saldarriaga, J. (2020). Sistemas de Drenaje Urbano: Flujo uniforme. In *Universidad de los Andes*.

Saldarriaga, J. (2021). Hidráulica. Tema: Flujo uniforme en canales. In *Universidad de los Andes*.

Schneider, L., Belger, L., Burger, J., & Vogt, R. C. (2009). Mercury bioaccumulation in four tissues of *Podocnemis erythrocephala* (Podocnemididae: Testudines) as a function of water parameters. *Science of the Total Environment*, 407(3), 1048–1054.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.09.049>

Silva, J. (2018). *Manutenção do sistema de esgoto condominial : avaliação da sustentabilidade técnico-econômica*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE.

Sistemas condominiales de alcantarillado sanitario: Guía de procedimientos. (2001). *Programa de Agua y Saneamiento*.

Trata Brasil. (2019). *Esgoto no Brasil*. <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>

Watson, G. (1995). *Good sewers cheap? Agency-customer interactions in low-cost urban sanitation in Brazil*.

Zhuan, X., Li, W., & Yang, F. (2017). Optimal Operation Scheduling of a Pumping Station in East Route of South-to-north Water Diversion Project. *Energy Procedia*, 105(Wei Li), 3031–3037. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.623>

9. ANEXOS

Anexo 1 Diseño realizado por Amarilo

CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
1	2	0.362	89.34	0.15	0.817	0.718	0.07	1.62	2537.50	2537.36	2539.52	2539.45	2.02	2.09
2	3	0.407	34.00	0.23	0.791	0.910	0.12	2.79	2537.21	2537.13	2539.45	2539.41	2.24	2.28
3	4	0.452	65.42	0.22	0.840	1.057	0.17	2.94	2537.02	2536.88	2539.41	2539.27	2.38	2.40
4	5	0.595	64.86	0.15	0.629	0.641	0.18	2.47	2536.99	2536.90	2539.27	2539.30	2.28	2.41
5	6	0.595	65.00	0.15	0.646	0.671	0.19	2.50	2536.87	2536.77	2539.30	2539.20	2.44	2.44
6	7	0.595	82.00	0.15	0.828	1.007	0.28	2.56	2536.62	2536.51	2539.20	2539.20	2.58	2.69
7	8	0.595	82.00	0.15	0.842	1.035	0.29	2.54	2536.47	2536.35	2539.20	2539.23	2.73	2.88
8	9	0.595	62.90	0.15	0.847	1.063	0.30	2.62	2536.32	2536.23	2539.23	2539.33	2.91	3.10
9	10	0.595	75.00	0.15	0.841	1.063	0.30	2.70	2536.20	2536.08	2539.33	2539.36	3.13	3.28
10	11	0.671	75.00	0.15	0.714	0.863	0.31	2.94	2536.13	2536.02	2539.36	2539.43	3.23	3.41
11	12	0.671	35.10	0.15	0.714	0.863	0.31	2.94	2536.02	2535.97	2539.43	2539.32	3.41	3.35
12	13	0.671	87.00	0.15	0.761	0.961	0.34	2.99	2535.93	2535.80	2539.32	2539.42	3.39	3.62
13	14	0.671	87.00	0.15	0.773	0.986	0.35	3.00	2535.79	2535.66	2539.42	2539.45	3.63	3.79
14	15	0.671	71.40	0.15	0.783	1.007	0.36	3.00	2535.65	2535.55	2539.45	2539.59	3.79	4.05
15	16	0.671	10.00	0.15	0.783	1.007	0.36	3.00	2533.85	2533.84	2539.59	2539.59	5.74	5.75
16	17	0.975	41.64	0.15	0.765	1.243	0.93	4.35	2533.88	2533.81	2539.59	2539.31	5.71	5.49
17	18	0.975	67.05	0.15	0.766	1.247	0.93	4.35	2533.81	2533.71	2539.31	2539.49	5.49	5.78
18	19	0.975	63.98	0.15	0.769	1.253	0.94	4.35	2533.71	2533.61	2539.49	2539.44	5.78	5.83
19	20	0.975	9.36	0.15	0.773	1.264	0.94	4.36	2533.61	2533.59	2539.44	2539.49	5.83	5.89
20	21	0.975	12.00	0.15	0.773	1.264	0.94	4.36	2533.59	2533.58	2539.44	2539.49	5.85	5.91
21	22	0.975	68.00	0.15	0.775	1.270	0.95	4.36	2533.57	2533.47	2539.49	2539.48	5.91	6.01
22	414	0.975	10.50	0.15	0.775	1.270	0.95	4.36	2533.47	2533.46	2539.48	2539.68	6.01	6.22



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
23	24	0.284	29.50	0.20	0.747	0.605	0.04	1.68	2537.87	2537.81	2539.17	2539.22	1.30	1.41
24	25	0.284	50.00	0.20	0.747	0.605	0.04	1.68	2537.69	2537.59	2539.22	2539.15	1.53	1.56
25	26	0.284	85.00	0.20	0.747	0.605	0.04	1.68	2537.58	2537.41	2539.15	2539.05	1.57	1.63
26	27	0.327	90.00	0.20	0.772	0.703	0.06	1.95	2537.40	2537.22	2539.05	2539.10	1.65	1.88
27	28	0.362	40.50	0.20	0.790	0.782	0.08	2.16	2537.21	2537.13	2539.10	2538.82	1.89	1.69
28	29	0.362	32.00	0.20	0.790	0.782	0.08	2.16	2537.12	2537.05	2538.82	2538.59	1.70	1.53
29	30	0.362	15.00	0.20	0.790	0.782	0.08	2.16	2537.05	2537.02	2538.59	2539.01	1.54	2.00
30	31	0.407	90.00	0.20	0.751	0.777	0.10	2.41	2537.03	2536.85	2539.01	2539.22	1.99	2.38
31	32	0.407	75.00	0.20	0.817	0.896	0.12	2.42	2536.80	2536.65	2539.22	2539.35	2.43	2.71
32	6	0.452	75.00	0.20	0.737	0.807	0.13	2.66	2536.67	2536.52	2539.35	2539.20	2.68	2.69
33	30	0.227	50.00	0.21	0.682	0.458	0.02	1.37	2537.79	2537.68	2539.09	2539.01	1.30	1.33
34	50	0.227	75.00	0.37	0.280	0.135	0.01	1.39	2537.97	2537.70	2539.27	2539.29	1.30	1.60
35	36	0.284	29.20	0.20	0.638	0.464	0.03	1.58	2537.56	2537.50	2539.16	2539.15	1.60	1.65
36	37	0.284	60.80	0.20	0.638	0.464	0.03	1.58	2537.50	2537.37	2539.15	2539.18	1.65	1.81
37	38	0.327	90.00	0.20	0.787	0.727	0.06	1.95	2537.28	2537.10	2539.18	2539.65	1.91	2.55
38	12	0.327	21.20	0.20	0.787	0.727	0.06	1.95	2537.09	2537.05	2539.65	2539.32	2.56	2.27
39	40	0.747	69.59	0.15	0.800	1.122	0.49	3.34	2535.58	2535.48	2539.04	2539.06	3.46	3.58
40	41	0.747	49.24	0.15	0.805	1.134	0.50	3.34	2535.47	2535.40	2539.06	2539.00	3.59	3.60
41	42	0.747	83.94	0.15	0.811	1.148	0.50	3.34	2535.40	2535.27	2539.00	2539.33	3.61	4.06
42	43	0.747	52.00	0.15	0.817	1.163	0.51	3.34	2535.26	2535.19	2539.33	2539.19	4.06	4.01
43	44	0.747	50.91	0.15	0.821	1.173	0.51	3.33	2535.18	2535.11	2539.19	2539.25	4.01	4.14
44	45	0.823	76.20	0.15	0.812	1.228	0.65	3.68	2534.23	2534.12	2539.25	2539.07	5.02	4.96



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
45	46	0.823	47.80	0.15	0.826	1.266	0.67	3.67	2534.10	2534.03	2539.07	2539.20	4.97	5.17
46	47	0.823	74.00	0.15	0.826	1.266	0.67	3.67	2534.03	2533.92	2539.20	2539.33	5.17	5.41
47	16	0.823	74.18	0.15	0.834	1.285	0.68	3.66	2533.91	2533.80	2539.33	2539.59	5.41	5.78
48	49	0.227	80.00	0.20	0.780	0.561	0.02	1.35	2536.67	2536.51	2538.52	2539.20	1.85	2.69
49	50	0.327	80.00	0.20	0.719	0.624	0.05	1.91	2536.54	2536.38	2539.20	2539.29	2.67	2.91
50	51	0.327	90.00	0.20	0.763	0.689	0.06	1.94	2536.35	2536.17	2539.29	2539.03	2.94	2.85
51	52	0.362	88.04	0.20	0.763	0.738	0.08	2.15	2536.17	2535.99	2539.03	2539.04	2.86	3.05
52	53	0.407	70.00	0.20	0.825	0.910	0.12	2.42	2535.96	2535.82	2539.04	2539.03	3.09	3.21
53	54	0.452	70.60	0.20	0.782	0.892	0.14	2.70	2535.82	2535.68	2539.03	2539.09	3.21	3.42
54	55	0.452	26.50	0.20	0.782	0.892	0.14	2.70	2535.66	2535.60	2539.09	2539.23	3.44	3.63
55	56	0.452	26.50	0.20	0.782	0.892	0.14	2.70	2535.58	2535.53	2539.23	2539.28	3.65	3.75
56	57	0.452	50.00	0.20	0.782	0.892	0.14	2.70	2535.50	2535.40	2539.28	2539.39	3.77	3.98
57	58	0.452	54.27	0.20	0.798	0.923	0.15	2.70	2535.37	2535.26	2539.39	2539.11	4.01	3.84
58	59	0.452	55.00	0.20	0.798	0.923	0.15	2.70	2535.24	2535.13	2539.11	2539.00	3.87	3.87
59	60	0.452	55.56	0.20	0.812	0.951	0.15	2.70	2535.10	2534.99	2539.00	2539.36	3.90	4.37
60	61	0.595	60.00	0.15	0.633	0.648	0.18	2.48	2535.11	2535.02	2539.36	2539.31	4.25	4.29
61	62	0.595	45.51	0.15	0.642	0.664	0.18	2.49	2534.99	2534.93	2539.31	2539.34	4.31	4.42
62	63	0.595	58.70	0.15	0.686	0.743	0.21	2.56	2534.87	2534.79	2539.34	2539.39	4.47	4.60
63	44	0.595	58.70	0.15	0.697	0.763	0.21	2.58	2534.76	2534.67	2539.39	2539.25	4.63	4.58
64	65	0.227	80.00	0.20	0.793	0.577	0.02	1.36	2536.77	2536.61	2538.67	2538.70	1.90	2.10
65	52	0.327	80.00	0.20	0.687	0.578	0.05	1.88	2536.64	2536.48	2538.70	2539.04	2.06	2.56
66	67	0.227	90.00	0.22	0.623	0.403	0.02	1.38	2536.26	2536.06	2538.56	2538.80	2.30	2.74



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
67	68	0.227	45.00	0.20	0.793	0.577	0.02	1.36	2536.02	2535.93	2538.80	2538.91	2.78	2.98
68	69	0.227	45.77	0.24	0.830	0.683	0.03	1.62	2535.91	2535.80	2538.91	2538.85	3.00	3.05
69	70	0.284	55.00	0.20	0.733	0.587	0.04	1.67	2535.83	2535.72	2538.85	2538.85	3.02	3.13
70	60	0.284	48.46	0.45	0.647	0.711	0.05	3.58	2535.70	2535.49	2538.85	2539.36	3.14	3.88
71	67	0.227	60.00	0.45	0.379	0.248	0.01	2.09	2537.75	2537.48	2539.15	2538.80	1.40	1.32
72	69	0.227	90.00	0.22	0.569	0.345	0.01	1.31	2537.75	2537.55	2539.05	2538.85	1.30	1.30
73	74	0.227	80.00	0.20	0.620	0.381	0.02	1.25	2538.23	2538.07	2539.73	2539.70	1.50	1.64
74	75	0.227	50.00	0.20	0.718	0.487	0.02	1.33	2536.34	2536.24	2539.70	2539.23	3.36	2.99
75	76	0.227	41.35	0.45	0.647	0.613	0.02	2.86	2536.23	2536.04	2539.23	2539.02	3.00	2.97
76	77	0.284	55.00	0.20	0.652	0.481	0.03	1.60	2536.08	2535.97	2539.02	2538.94	2.94	2.97
77	62	0.284	47.94	0.20	0.750	0.610	0.04	1.68	2535.93	2535.83	2538.94	2539.34	3.01	3.51
78	74	0.227	75.00	0.35	0.318	0.162	0.01	1.44	2536.71	2536.44	2538.96	2539.70	2.25	3.26
79	76	0.227	80.00	0.45	0.352	0.218	0.01	1.98	2536.54	2536.18	2539.04	2539.02	2.50	2.84
80	81	0.227	55.00	0.45	0.301	0.167	0.01	1.78	2538.24	2537.99	2539.64	2539.84	1.40	1.85
81	41	0.227	55.00	0.45	0.514	0.415	0.02	2.53	2537.92	2537.68	2539.84	2539.00	1.92	1.32
82	83	0.227	55.00	0.30	0.339	0.167	0.01	1.29	2537.75	2537.58	2539.05	2538.88	1.30	1.30
83	42	0.227	55.00	0.20	0.645	0.407	0.02	1.27	2537.28	2537.17	2538.88	2539.33	1.60	2.15
84	85	0.284	88.00	0.15	0.664	0.429	0.03	1.21	2537.36	2537.23	2538.97	2539.11	1.61	1.88
85	86	0.327	88.00	0.15	0.804	0.653	0.05	1.46	2536.98	2536.84	2539.11	2539.07	2.13	2.23
86	87	0.362	88.00	0.15	0.812	0.711	0.07	1.62	2536.84	2536.70	2539.07	2539.21	2.23	2.50
87	88	0.671	64.00	0.15	0.787	1.016	0.36	3.00	2536.70	2536.60	2539.21	2539.09	2.51	2.49
88	89	0.671	64.00	0.15	0.796	1.036	0.37	3.00	2536.59	2536.50	2539.09	2539.16	2.49	2.66



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
89	90	0.671	81.00	0.15	0.803	1.051	0.37	3.00	2536.49	2536.37	2539.16	2538.83	2.67	2.46
90	91	0.747	66.50	0.15	0.740	0.984	0.43	3.31	2536.43	2536.33	2538.83	2538.83	2.40	2.51
91	92	0.747	80.00	0.15	0.747	1.000	0.44	3.31	2536.32	2536.20	2538.83	2538.91	2.51	2.71
92	93	0.747	80.00	0.15	0.758	1.024	0.45	3.33	2536.19	2536.07	2538.91	2538.94	2.72	2.86
93	94	0.747	85.65	0.15	0.758	1.024	0.45	3.33	2536.07	2535.94	2538.94	2538.99	2.86	3.04
94	95	0.747	81.18	0.15	0.767	1.046	0.46	3.33	2535.94	2535.81	2538.99	2539.05	3.05	3.24
95	39	0.747	85.17	0.15	0.775	1.064	0.47	3.34	2535.81	2535.68	2539.05	2539.04	3.25	3.36
96	97	0.284	88.00	0.22	0.813	0.733	0.05	1.86	2537.62	2537.42	2538.92	2538.90	1.30	1.47
97	98	0.362	88.00	0.20	0.821	0.836	0.09	2.15	2537.16	2536.98	2538.90	2539.49	1.74	2.51
98	99	0.407	70.00	0.20	0.742	0.762	0.10	2.40	2537.01	2536.87	2539.49	2539.10	2.48	2.23
99	90	0.407	19.46	0.20	0.742	0.762	0.10	2.40	2536.85	2536.82	2539.10	2538.83	2.25	2.02
100	101	0.227	72.00	0.20	0.688	0.454	0.02	1.31	2537.56	2537.42	2538.88	2538.90	1.32	1.48
101	102	0.284	72.00	0.20	0.562	0.374	0.02	1.48	2537.47	2537.32	2538.90	2539.07	1.43	1.75
102	103	0.284	72.00	0.20	0.811	0.696	0.04	1.69	2537.23	2537.09	2539.07	2539.13	1.84	2.04
103	39	0.327	51.84	0.20	0.707	0.606	0.05	1.90	2537.12	2537.02	2539.13	2539.04	2.01	2.02
104	105	1.127	70.00	0.13	0.774	1.300	1.30	4.36	2533.49	2533.40	2539.55	2539.38	6.06	5.98
105	106	1.127	71.00	0.13	0.776	1.305	1.30	4.37	2533.39	2533.30	2539.38	2539.47	5.99	6.17
106	107	1.127	62.00	0.13	0.783	1.327	1.32	4.37	2533.29	2533.21	2539.47	2539.34	6.18	6.13
107	108	1.127	60.00	0.13	0.785	1.331	1.33	4.37	2533.21	2533.13	2539.34	2539.60	6.13	6.47
108	109	1.127	12.49	0.13	0.804	1.385	1.38	4.37	2533.11	2533.09	2539.60	2539.51	6.50	6.42
109	110	1.127	70.00	0.13	0.810	1.406	1.40	4.37	2533.08	2532.99	2539.51	2539.31	6.43	6.31
110	111	1.127	37.00	0.13	0.814	1.415	1.41	4.37	2532.99	2532.94	2539.31	2539.41	6.32	6.47



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
111	112	1.127	24.00	0.13	0.814	1.415	1.41	4.37	2532.94	2532.91	2539.41	2539.34	6.47	6.43
112	113	1.127	50.00	0.13	0.815	1.419	1.42	4.37	2532.91	2532.84	2539.34	2539.37	6.43	6.53
113	114	1.127	58.00	0.13	0.815	1.419	1.42	4.37	2532.84	2532.77	2539.37	2539.62	6.53	6.86
114	115	1.127	14.50	0.13	0.817	1.424	1.42	4.36	2532.76	2532.74	2539.62	2539.38	6.86	6.64
115	116	1.127	56.70	0.13	0.817	1.424	1.42	4.36	2532.74	2532.67	2539.38	2539.63	6.64	6.96
116	117	1.127	52.00	0.13	0.817	1.424	1.42	4.36	2532.67	2532.60	2539.63	2539.52	6.96	6.92
117	414	1.127	8.23	0.13	0.818	1.427	1.42	4.36	2532.60	2532.59	2539.52	2539.68	6.92	7.09
118	119	0.227	85.00	0.30	0.535	0.363	0.01	1.73	2537.55	2537.30	2539.05	2538.99	1.50	1.69
119	120	0.284	85.00	0.20	0.752	0.612	0.04	1.68	2537.06	2536.89	2538.99	2538.95	1.94	2.06
120	121	0.327	75.00	0.20	0.732	0.643	0.05	1.92	2536.83	2536.68	2538.95	2539.61	2.12	2.93
121	106	0.327	10.00	0.20	0.732	0.643	0.05	1.92	2533.30	2533.28	2539.61	2539.47	6.31	6.19
122	123	0.227	55.00	0.20	0.669	0.433	0.02	1.29	2536.89	2536.78	2538.77	2539.01	1.88	2.23
123	124	0.284	55.00	0.20	0.612	0.432	0.03	1.55	2536.64	2536.53	2539.01	2539.24	2.37	2.72
124	125	0.362	62.50	0.20	0.795	0.792	0.08	2.16	2536.04	2535.91	2539.24	2539.31	3.20	3.40
125	126	0.407	62.00	0.20	0.706	0.700	0.09	2.37	2535.95	2535.82	2539.31	2539.09	3.37	3.27
126	127	0.407	65.00	0.20	0.763	0.798	0.10	2.42	2535.69	2535.56	2539.09	2538.68	3.40	3.12
127	128	0.407	70.00	0.20	0.801	0.867	0.11	2.43	2535.52	2535.38	2538.68	2538.85	3.16	3.46
128	129	0.407	23.00	0.20	0.809	0.881	0.11	2.43	2535.36	2535.32	2538.85	2539.08	3.49	3.77
129	108	0.407	24.00	0.20	0.809	0.881	0.11	2.43	2533.15	2533.10	2539.08	2539.60	5.94	6.51
130	131	0.227	70.00	0.24	0.830	0.683	0.03	1.62	2537.78	2537.61	2539.40	2539.43	1.62	1.82
131	124	0.284	70.00	0.20	0.753	0.615	0.04	1.68	2537.64	2537.50	2539.43	2539.24	1.80	1.75
132	133	0.227	67.00	0.20	0.790	0.573	0.02	1.36	2537.74	2537.61	2539.34	2539.30	1.60	1.69



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
133	124	0.284	67.00	0.47	0.530	0.519	0.03	3.36	2536.41	2536.10	2539.30	2539.24	2.88	3.14
134	135	0.227	70.00	0.21	0.531	0.300	0.01	1.20	2537.00	2536.85	2538.60	2538.52	1.60	1.67
135	126	0.227	70.00	0.20	0.756	0.533	0.02	1.35	2536.79	2536.65	2538.52	2539.09	1.73	2.44
136	137	0.227	53.00	0.21	0.511	0.281	0.01	1.18	2537.63	2537.52	2538.93	2539.08	1.30	1.56
137	138	0.227	55.00	0.20	0.612	0.372	0.02	1.24	2537.49	2537.38	2539.08	2539.05	1.59	1.67
138	139	0.227	60.00	0.20	0.692	0.458	0.02	1.31	2536.88	2536.76	2539.05	2539.09	2.17	2.33
139	140	0.227	60.00	0.20	0.834	0.629	0.03	1.34	2536.72	2536.60	2539.09	2539.37	2.37	2.77
140	141	0.227	66.00	0.20	0.834	0.629	0.03	1.34	2536.60	2536.46	2539.37	2539.30	2.77	2.84
141	142	0.284	66.00	0.20	0.702	0.545	0.03	1.65	2536.50	2536.37	2539.30	2539.35	2.80	2.98
142	143	0.284	66.00	0.20	0.789	0.664	0.04	1.70	2536.34	2536.20	2539.35	2539.81	3.01	3.61
143	144	0.327	24.00	0.20	0.708	0.607	0.05	1.90	2536.23	2536.18	2539.81	2539.98	3.58	3.80
144	145	0.327	29.50	0.20	0.708	0.607	0.05	1.90	2536.17	2536.12	2539.98	2539.89	3.81	3.77
145	109	0.327	14.00	0.20	0.708	0.607	0.05	1.90	2533.16	2533.13	2539.89	2539.51	6.73	6.38
146	147	0.227	80.00	0.26	0.379	0.188	0.01	1.20	2537.95	2537.74	2539.50	2539.50	1.55	1.76
147	148	0.227	60.00	0.20	0.780	0.561	0.02	1.35	2537.64	2537.52	2539.50	2539.50	1.86	1.98
148	19	0.227	16.74	0.20	0.780	0.561	0.02	1.35	2533.61	2533.57	2539.50	2539.44	5.89	5.87
149	150	0.899	84.36	0.14	0.812	1.260	0.80	3.75	2534.64	2534.53	2538.87	2538.83	4.22	4.30
150	151	0.899	82.28	0.15	0.818	1.320	0.84	4.02	2534.51	2534.39	2538.83	2538.88	4.32	4.49
151	152	0.975	50.00	0.13	0.782	1.201	0.90	3.78	2534.45	2534.38	2538.88	2538.91	4.43	4.53
152	153	0.975	45.00	0.13	0.784	1.205	0.90	3.78	2534.38	2534.32	2538.91	2538.94	4.53	4.62
153	154	0.975	51.00	0.13	0.785	1.208	0.90	3.78	2534.32	2534.25	2538.94	2538.87	4.62	4.61
154	155	0.975	69.00	0.14	0.802	1.301	0.97	4.07	2534.23	2534.13	2538.87	2538.88	4.64	4.75



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
155	156	0.975	67.00	0.14	0.804	1.308	0.98	4.07	2534.13	2534.03	2538.88	2539.02	4.75	4.98
156	157	0.975	36.86	0.14	0.804	1.308	0.98	4.07	2534.03	2533.98	2539.02	2539.03	4.98	5.05
157	158	0.975	75.00	0.14	0.804	1.308	0.98	4.07	2533.98	2533.88	2539.03	2539.02	5.05	5.14
158	159	0.975	45.00	0.14	0.807	1.314	0.98	4.07	2533.87	2533.81	2539.02	2538.96	5.15	5.15
159	160	0.975	18.00	0.14	0.807	1.314	0.98	4.07	2533.81	2533.79	2538.96	2539.04	5.15	5.25
160	161	1.051	60.00	0.13	0.820	1.370	1.19	4.07	2533.78	2533.70	2539.04	2539.01	5.26	5.31
161	162	1.051	68.00	0.13	0.820	1.370	1.19	4.07	2533.70	2533.61	2539.01	2539.19	5.31	5.57
162	163	1.051	40.00	0.13	0.822	1.374	1.19	4.06	2533.61	2533.56	2539.19	2539.47	5.57	5.91
163	164	1.051	58.00	0.13	0.822	1.374	1.19	4.06	2533.56	2533.48	2539.47	2539.41	5.91	5.92
164	104	1.051	45.00	0.13	0.823	1.377	1.19	4.06	2533.48	2533.42	2539.41	2539.55	5.92	6.13
165	166	0.227	80.00	0.20	0.637	0.398	0.02	1.26	2537.59	2537.43	2538.89	2539.36	1.30	1.92
166	167	0.284	88.00	0.20	0.827	0.720	0.05	1.69	2536.97	2536.79	2539.36	2539.34	2.39	2.55
167	168	0.327	38.00	0.20	0.765	0.692	0.06	1.94	2536.81	2536.73	2539.34	2539.46	2.53	2.73
168	169	0.327	64.00	0.20	0.793	0.736	0.06	1.95	2536.71	2536.59	2539.46	2539.19	2.75	2.61
169	170	0.362	71.00	0.20	0.744	0.707	0.07	2.14	2536.60	2536.46	2539.19	2538.92	2.59	2.47
170	150	0.362	10.00	0.20	0.744	0.707	0.07	2.14	2534.61	2534.59	2538.92	2538.83	4.32	4.24
171	172	0.227	50.00	0.25	0.407	0.208	0.01	1.22	2538.25	2538.13	2539.55	2539.65	1.30	1.52
172	167	0.227	50.00	0.20	0.703	0.471	0.02	1.32	2538.05	2537.95	2539.65	2539.34	1.60	1.39
173	174	0.227	50.00	0.26	0.372	0.183	0.01	1.19	2537.55	2537.42	2538.97	2539.07	1.42	1.65
174	169	0.227	50.00	0.20	0.677	0.441	0.02	1.30	2537.35	2537.25	2539.07	2539.19	1.72	1.95
175	176	0.227	70.00	0.45	0.366	0.233	0.01	2.04	2537.73	2537.41	2539.13	2538.70	1.40	1.28
176	177	0.227	70.00	0.50	0.542	0.479	0.02	2.90	2536.96	2536.61	2538.70	2540.11	1.73	3.49



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
177	178	0.407	68.00	0.20	0.751	0.777	0.10	2.41	2536.53	2536.39	2540.11	2539.67	3.58	3.28
178	179	0.407	86.50	0.20	0.777	0.824	0.11	2.43	2536.36	2536.19	2539.67	2539.18	3.31	2.99
179	180	0.407	65.50	0.20	0.800	0.866	0.11	2.43	2535.95	2535.82	2539.18	2539.35	3.23	3.53
180	151	0.407	10.00	0.20	0.800	0.866	0.11	2.43	2534.44	2534.42	2539.35	2538.88	4.91	4.46
181	182	0.227	65.00	0.30	0.306	0.140	0.01	1.20	2537.95	2537.76	2539.50	2539.56	1.55	1.80
182	178	0.227	66.00	0.48	0.412	0.295	0.01	2.35	2536.79	2536.47	2539.56	2539.67	2.77	3.20
183	184	0.227	50.00	0.30	0.306	0.140	0.01	1.20	2537.79	2537.64	2539.14	2539.27	1.35	1.63
184	179	0.227	50.00	0.22	0.494	0.271	0.01	1.21	2536.14	2536.03	2539.27	2539.18	3.13	3.15
185	186	0.227	73.00	0.47	0.419	0.300	0.01	2.33	2539.10	2538.76	2540.30	2539.96	1.20	1.20
186	187	0.227	30.00	1.70	0.287	0.300	0.01	6.50	2538.73	2538.22	2539.96	2539.44	1.22	1.21
187	188	0.327	80.00	0.47	0.777	1.089	0.09	4.58	2537.49	2537.12	2539.44	2539.29	1.94	2.17
188	189	0.407	41.60	0.21	0.791	0.869	0.11	2.55	2537.15	2537.07	2539.29	2539.12	2.13	2.05
189	190	0.407	33.60	0.21	0.799	0.885	0.12	2.55	2537.04	2536.97	2539.12	2539.24	2.08	2.27
190	191	0.407	66.00	0.23	0.838	1.003	0.13	2.77	2535.78	2535.63	2539.24	2539.04	3.46	3.41
191	154	0.407	10.00	0.23	0.838	1.003	0.13	2.77	2534.22	2534.20	2539.04	2538.87	4.82	4.67
192	193	0.227	88.00	1.35	0.437	0.545	0.02	6.87	2539.64	2538.45	2541.14	2539.95	1.50	1.50
193	187	0.284	40.00	0.60	0.830	1.254	0.08	5.06	2538.00	2537.76	2539.95	2539.44	1.94	1.68
194	195	0.227	60.00	0.22	0.533	0.309	0.01	1.26	2538.41	2538.28	2539.71	2539.81	1.30	1.54
195	188	0.227	60.00	0.50	0.580	0.537	0.02	3.01	2538.23	2537.93	2539.81	2539.29	1.58	1.35
196	188	0.227	72.00	0.45	0.505	0.403	0.02	2.50	2538.34	2538.02	2539.64	2539.29	1.30	1.27
197	198	0.227	60.00	0.23	0.440	0.228	0.01	1.18	2537.90	2537.76	2539.20	2539.18	1.30	1.41
198	190	0.227	60.00	0.50	0.572	0.525	0.02	2.99	2536.14	2535.84	2539.18	2539.24	3.03	3.39



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
199	200	0.227	44.00	0.50	0.545	0.483	0.02	2.91	2540.69	2540.47	2541.99	2541.78	1.30	1.30
200	201	0.227	54.38	0.45	0.562	0.483	0.02	2.66	2539.27	2539.03	2541.78	2541.48	2.50	2.45
201	202	0.284	74.01	1.50	0.695	1.467	0.09	12.30	2538.64	2537.53	2541.48	2539.73	2.84	2.19
202	203	0.407	74.00	0.20	0.765	0.801	0.10	2.42	2537.23	2537.09	2539.73	2539.97	2.49	2.88
203	204	0.407	64.00	0.21	0.837	0.956	0.12	2.53	2536.94	2536.80	2539.97	2539.01	3.03	2.20
204	205	0.452	62.00	0.20	0.777	0.882	0.14	2.69	2536.81	2536.69	2539.01	2539.04	2.19	2.35
205	206	0.452	71.00	0.20	0.808	0.942	0.15	2.70	2536.65	2536.51	2539.04	2539.05	2.39	2.54
206	207	0.452	30.00	0.20	0.814	0.955	0.15	2.69	2536.48	2536.42	2539.05	2538.99	2.57	2.56
207	160	0.595	19.96	0.20	0.828	1.181	0.33	3.53	2533.86	2533.82	2538.99	2539.04	5.12	5.21
208	201	0.227	75.63	0.48	0.449	0.341	0.01	2.49	2539.39	2539.03	2541.64	2541.48	2.25	2.45
209	203	0.227	82.00	0.20	0.696	0.462	0.02	1.31	2538.33	2538.16	2539.63	2539.97	1.30	1.80
210	205	0.227	78.00	0.42	0.556	0.458	0.02	2.47	2538.17	2537.84	2539.82	2539.04	1.65	1.20
211	212	0.284	52.00	1.20	0.658	1.196	0.08	9.63	2545.20	2544.57	2546.50	2545.84	1.30	1.27
212	213	0.284	56.00	4.70	0.491	1.440	0.09	32.19	2544.09	2541.46	2545.84	2542.78	1.75	1.33
213	214	0.327	62.00	0.50	0.815	1.219	0.10	4.87	2540.04	2539.73	2542.78	2541.66	2.75	1.93
214	215	0.362	68.00	0.54	0.772	1.238	0.13	5.82	2539.71	2539.34	2541.66	2540.58	1.95	1.24
215	216	0.362	68.00	0.80	0.709	1.304	0.13	8.43	2538.81	2538.27	2540.58	2539.57	1.77	1.30
216	217	0.407	76.00	0.29	0.835	1.120	0.15	3.49	2537.86	2537.64	2539.57	2539.19	1.71	1.55
217	218	0.452	30.36	0.29	0.833	1.195	0.19	3.88	2536.89	2536.80	2539.19	2538.83	2.30	2.02
218	219	0.452	83.00	0.30	0.833	1.216	0.20	4.02	2536.76	2536.51	2538.83	2539.10	2.06	2.58
219	207	0.595	82.00	0.15	0.707	0.783	0.22	2.60	2536.62	2536.49	2539.10	2538.99	2.48	2.49
220	213	0.227	48.00	0.24	0.412	0.208	0.01	1.18	2540.33	2540.21	2541.63	2542.78	1.30	2.57



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
221	222	0.227	90.00	0.20	0.812	0.601	0.02	1.35	2537.59	2537.41	2539.24	2539.21	1.65	1.80
222	217	0.327	68.30	0.20	0.721	0.627	0.05	1.91	2537.11	2536.97	2539.21	2539.19	2.10	2.22
223	224	0.284	90.00	0.20	0.601	0.419	0.03	1.54	2537.46	2537.28	2538.91	2538.88	1.45	1.60
224	225	0.284	90.00	0.20	0.698	0.540	0.03	1.64	2537.24	2537.06	2538.88	2539.03	1.64	1.97
225	226	0.327	90.00	0.20	0.697	0.591	0.05	1.89	2537.06	2536.88	2539.03	2538.98	1.97	2.10
226	227	0.327	90.00	0.20	0.697	0.591	0.05	1.89	2536.87	2536.69	2538.98	2538.51	2.11	1.82
227	228	0.362	90.00	0.20	0.721	0.670	0.07	2.12	2536.68	2536.50	2538.51	2538.73	1.83	2.23
228	229	0.407	78.00	0.20	0.812	0.887	0.12	2.43	2535.85	2535.69	2538.73	2538.60	2.89	2.91
229	230	0.452	74.00	0.20	0.720	0.776	0.12	2.64	2535.72	2535.57	2538.60	2539.29	2.89	3.72
230	231	0.452	54.72	0.20	0.791	0.911	0.15	2.70	2535.51	2535.40	2539.29	2539.58	3.78	4.18
231	104	0.452	28.00	0.20	0.791	0.911	0.15	2.70	2533.53	2533.47	2539.58	2539.55	6.05	6.08
232	233	0.284	88.00	0.30	0.635	0.564	0.04	2.37	2537.54	2537.27	2539.14	2538.88	1.60	1.60
233	228	0.327	88.00	0.20	0.792	0.735	0.06	1.95	2537.23	2537.06	2538.88	2538.73	1.65	1.68
234	235	0.227	65.00	0.20	0.732	0.504	0.02	1.34	2538.18	2538.05	2539.68	2539.64	1.50	1.59
235	236	0.284	65.00	0.46	0.493	0.454	0.03	3.16	2537.54	2537.24	2539.64	2539.57	2.10	2.34
236	237	0.327	73.50	0.20	0.719	0.624	0.05	1.91	2537.19	2537.04	2539.57	2539.44	2.38	2.40
237	238	0.327	60.00	0.20	0.814	0.769	0.06	1.95	2537.00	2536.88	2539.44	2539.51	2.44	2.63
238	104	0.327	10.00	0.20	0.814	0.769	0.06	1.95	2533.46	2533.44	2539.51	2539.55	6.05	6.11
239	240	0.227	60.00	0.21	0.682	0.458	0.02	1.37	2537.69	2537.56	2539.89	2539.75	2.20	2.19
240	236	0.227	60.00	0.30	0.825	0.756	0.03	2.02	2537.51	2537.33	2539.75	2539.57	2.25	2.25
241	242	0.284	75.00	0.20	0.648	0.476	0.03	1.59	2539.15	2539.00	2539.79	2540.02	0.64	1.02
242	243	0.327	75.00	0.20	0.716	0.619	0.05	1.91	2538.98	2538.83	2540.02	2540.26	1.04	1.43



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
243	271	0.327	75.29	0.20	0.716	0.619	0.05	1.91	2538.82	2538.67	2540.26	2540.61	1.44	1.94
244	245	0.227	90.00	0.20	0.743	0.516	0.02	1.34	2538.84	2538.66	2539.54	2539.60	0.70	0.94
245	246	0.284	90.00	0.20	0.684	0.521	0.03	1.63	2538.68	2538.50	2539.60	2539.86	0.92	1.35
246	247	0.284	66.30	0.20	0.684	0.521	0.03	1.63	2538.50	2538.36	2539.86	2539.61	1.36	1.25
247	248	0.284	68.00	0.20	0.814	0.700	0.04	1.69	2538.31	2538.18	2539.61	2539.53	1.29	1.35
248	1	0.327	60.00	0.20	0.759	0.683	0.06	1.94	2538.18	2538.06	2539.53	2539.52	1.35	1.46
249	250	0.227	75.00	0.23	0.526	0.309	0.01	1.31	2538.73	2538.56	2540.03	2539.83	1.30	1.27
250	251	0.284	75.00	0.20	0.616	0.437	0.03	1.56	2538.55	2538.40	2539.83	2539.85	1.28	1.44
251	252	0.327	75.00	0.20	0.700	0.596	0.05	1.89	2538.24	2538.09	2539.85	2539.87	1.60	1.77
252	253	0.327	75.00	0.20	0.700	0.596	0.05	1.89	2538.09	2537.94	2539.87	2539.90	1.78	1.96
253	2	0.327	59.88	0.20	0.780	0.716	0.06	1.95	2537.37	2537.25	2539.90	2539.45	2.53	2.20
254	255	0.284	75.00	0.25	0.652	0.538	0.03	2.00	2538.74	2538.55	2540.04	2539.85	1.30	1.30
255	256	0.284	75.00	0.20	0.696	0.538	0.03	1.64	2538.54	2538.39	2539.85	2539.87	1.31	1.48
256	257	0.327	75.00	0.20	0.703	0.601	0.05	1.90	2538.28	2538.13	2539.87	2539.88	1.59	1.75
257	258	0.327	75.00	0.20	0.812	0.766	0.06	1.95	2538.08	2537.93	2539.88	2539.95	1.80	2.01
258	3	0.362	60.00	0.20	0.742	0.705	0.07	2.14	2537.77	2537.65	2539.95	2539.41	2.18	1.76
259	260	0.227	54.97	0.21	0.656	0.428	0.02	1.34	2539.02	2538.90	2540.41	2541.00	1.39	2.10
260	261	0.227	70.07	0.11	0.793	0.428	0.02	0.75	2538.88	2538.80	2541.00	2540.44	2.13	1.64
261	262	0.284	69.91	0.13	0.823	0.575	0.04	1.10	2538.75	2538.66	2540.44	2540.05	1.70	1.40
262	263	0.284	5.07	0.20	0.730	0.575	0.04	1.63	2538.55	2538.54	2540.05	2540.05	1.51	1.51
263	264	0.407	62.00	0.20	0.748	0.772	0.10	2.41	2538.31	2538.19	2540.05	2539.97	1.74	1.78
264	265	0.407	62.00	0.20	0.783	0.834	0.11	2.43	2538.15	2538.03	2539.97	2540.06	1.82	2.04



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
265	266	0.407	62.00	0.20	0.817	0.895	0.12	2.42	2537.99	2537.87	2540.06	2539.97	2.07	2.10
266	267	0.452	80.00	0.20	0.733	0.799	0.13	2.66	2537.89	2537.73	2539.97	2540.20	2.08	2.47
267	268	0.595	33.35	0.15	0.737	0.840	0.23	2.63	2537.31	2537.26	2540.20	2540.20	2.89	2.94
268	269	0.671	46.65	0.15	0.719	0.873	0.31	2.94	2537.08	2537.01	2540.20	2539.36	3.12	2.35
269	270	0.671	82.00	0.15	0.719	0.873	0.31	2.94	2537.01	2536.88	2539.36	2539.02	2.35	2.13
270	87	0.671	90.00	0.15	0.730	0.895	0.32	2.96	2536.88	2536.74	2539.02	2539.21	2.14	2.47
271	272	0.327	64.00	0.20	0.716	0.619	0.05	1.91	2538.63	2538.51	2540.61	2540.01	1.98	1.51
272	273	0.327	64.00	0.20	0.716	0.619	0.05	1.91	2538.51	2538.38	2540.01	2539.99	1.51	1.61
273	274	0.327	62.00	0.40	0.661	0.764	0.06	3.70	2538.36	2538.11	2539.99	2539.30	1.64	1.19
274	275	0.327	69.00	0.29	0.727	0.764	0.06	2.78	2538.09	2537.89	2539.30	2539.10	1.21	1.21
275	276	0.362	69.53	0.26	0.689	0.708	0.07	2.71	2537.90	2537.72	2539.10	2538.94	1.20	1.22
276	277	0.407	69.55	0.20	0.666	0.634	0.08	2.31	2537.74	2537.60	2538.94	2539.37	1.19	1.76
277	267	0.407	80.00	0.20	0.736	0.751	0.10	2.40	2537.45	2537.29	2539.37	2540.20	1.91	2.91
278	279	0.227	62.00	0.25	0.461	0.257	0.01	1.32	2538.04	2537.88	2539.32	2539.13	1.28	1.24
279	280	0.227	62.00	0.20	0.770	0.549	0.02	1.35	2537.80	2537.68	2539.13	2539.28	1.32	1.60
280	281	0.284	85.50	0.20	0.626	0.449	0.03	1.57	2537.72	2537.55	2539.28	2539.42	1.55	1.86
281	282	0.284	84.00	0.20	0.705	0.550	0.03	1.65	2537.52	2537.35	2539.42	2539.92	1.89	2.57
282	283	0.327	66.70	0.20	0.828	0.792	0.07	1.94	2537.31	2537.17	2539.92	2539.65	2.61	2.48
283	268	0.327	90.00	0.20	0.828	0.792	0.07	1.94	2537.17	2536.99	2539.65	2540.20	2.49	3.21
284	285	0.227	75.00	0.40	0.619	0.537	0.02	2.49	2538.97	2538.67	2540.17	2539.86	1.20	1.19
285	282	0.227	75.00	0.24	0.720	0.537	0.02	1.59	2538.59	2538.41	2539.86	2539.92	1.27	1.51
286	287	0.327	65.00	0.80	0.677	1.125	0.09	7.48	2538.53	2538.01	2539.83	2539.34	1.30	1.33



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
287	288	0.407	70.40	0.15	0.818	0.777	0.10	1.82	2537.78	2537.67	2539.34	2539.32	1.56	1.65
288	289	0.407	82.00	0.15	0.818	0.777	0.10	1.82	2537.66	2537.54	2539.32	2539.42	1.67	1.88
289	290	0.452	80.00	0.15	0.717	0.667	0.11	1.98	2537.57	2537.45	2539.42	2539.52	1.85	2.08
290	291	0.452	80.00	0.15	0.788	0.782	0.13	2.02	2537.39	2537.27	2539.52	2539.62	2.13	2.35
291	292	0.595	16.70	0.15	0.643	0.667	0.19	2.50	2537.36	2537.34	2539.62	2539.87	2.26	2.53
292	293	0.595	51.00	0.15	0.686	0.743	0.21	2.56	2537.29	2537.21	2539.87	2539.90	2.58	2.68
293	294	0.595	33.00	0.15	0.686	0.743	0.21	2.56	2537.19	2537.14	2539.90	2539.95	2.71	2.81
294	295	0.595	90.00	0.15	0.711	0.789	0.22	2.60	2537.10	2536.97	2539.95	2539.88	2.85	2.91
295	296	0.595	90.00	0.15	0.725	0.817	0.23	2.62	2536.94	2536.80	2539.88	2539.88	2.95	3.08
296	297	0.595	90.00	0.15	0.789	0.942	0.26	2.66	2536.73	2536.60	2539.88	2539.82	3.14	3.22
297	298	0.671	90.00	0.15	0.666	0.765	0.27	2.86	2536.65	2536.52	2539.82	2539.96	3.17	3.45
298	299	0.671	90.00	0.15	0.679	0.792	0.28	2.88	2536.50	2536.37	2539.96	2539.69	3.46	3.32
299	300	0.747	88.00	0.15	0.668	0.828	0.36	3.19	2536.17	2536.04	2539.69	2539.19	3.52	3.15
300	301	0.747	72.00	0.15	0.678	0.847	0.37	3.20	2536.03	2535.92	2539.19	2539.06	3.16	3.13
301	302	0.747	72.00	0.15	0.686	0.865	0.38	3.22	2535.92	2535.81	2539.06	2539.00	3.14	3.19
302	303	0.747	72.00	0.15	0.746	0.996	0.44	3.31	2535.76	2535.65	2539.00	2538.90	3.24	3.25
303	304	0.747	75.00	0.15	0.754	1.015	0.45	3.32	2535.64	2535.53	2538.90	2538.80	3.26	3.27
304	305	0.747	36.58	0.15	0.754	1.015	0.45	3.32	2535.53	2535.47	2538.80	2538.80	3.27	3.33
305	306	0.747	50.00	0.15	0.754	1.015	0.45	3.32	2535.47	2535.40	2538.80	2538.89	3.33	3.49
306	307	0.747	17.10	0.15	0.762	1.034	0.45	3.33	2535.39	2535.37	2538.89	2538.86	3.50	3.49
307	308	0.747	32.90	0.15	0.804	1.132	0.50	3.34	2535.33	2535.28	2538.86	2538.92	3.53	3.64
308	309	0.747	35.00	0.15	0.804	1.132	0.50	3.34	2535.28	2535.23	2538.92	2538.87	3.64	3.64



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
309	310	0.747	62.00	0.15	0.804	1.132	0.50	3.34	2535.23	2535.14	2538.87	2538.86	3.64	3.72
310	311	0.747	60.07	0.15	0.810	1.146	0.50	3.34	2535.13	2535.04	2538.86	2538.90	3.73	3.86
311	312	0.747	34.32	0.15	0.810	1.146	0.50	3.34	2535.04	2534.99	2538.90	2538.86	3.86	3.87
312	149	0.899	35.25	0.15	0.794	1.254	0.80	4.03	2534.70	2534.64	2538.86	2538.87	4.17	4.22
313	314	0.284	50.00	0.25	0.705	0.615	0.04	2.06	2537.95	2537.83	2539.75	2539.50	1.80	1.68
314	315	0.327	90.00	0.13	0.803	0.606	0.05	1.27	2537.79	2537.67	2539.50	2539.49	1.71	1.82
315	316	0.362	80.00	0.25	0.725	0.757	0.08	2.65	2537.60	2537.40	2539.49	2539.49	1.89	2.09
316	307	0.362	25.94	0.25	0.725	0.757	0.08	2.65	2537.39	2537.32	2539.49	2539.86	2.10	2.54
317	318	0.284	40.00	0.20	0.665	0.497	0.03	1.61	2537.53	2537.45	2538.85	2538.85	1.32	1.40
318	319	0.284	84.81	0.20	0.801	0.682	0.04	1.70	2537.35	2537.18	2538.85	2539.16	1.50	1.98
319	320	0.327	90.00	0.20	0.723	0.630	0.05	1.92	2537.20	2537.02	2539.16	2539.59	1.96	2.57
320	321	0.362	90.00	0.20	0.783	0.772	0.08	2.16	2537.00	2536.82	2539.59	2539.94	2.59	3.12
321	302	0.452	90.00	0.20	0.621	0.603	0.10	2.49	2536.90	2536.72	2539.94	2539.00	3.04	2.28
322	323	0.284	60.00	0.20	0.707	0.552	0.03	1.65	2538.76	2538.64	2540.06	2539.95	1.30	1.31
323	324	0.327	60.00	0.20	0.765	0.692	0.06	1.94	2538.62	2538.50	2539.95	2539.61	1.33	1.11
324	296	0.327	17.00	0.20	0.765	0.692	0.06	1.94	2538.49	2538.46	2539.61	2539.88	1.12	1.42
325	326	0.327	52.00	0.20	0.783	0.721	0.06	1.95	2538.60	2538.50	2540.30	2540.30	1.70	1.80
326	327	0.362	77.00	0.20	0.808	0.813	0.08	2.16	2538.48	2538.33	2540.30	2540.30	1.82	1.97
327	291	0.362	35.50	0.20	0.808	0.813	0.08	2.16	2537.93	2537.85	2540.30	2539.62	2.37	1.77
328	329	0.227	40.00	7.75	0.233	0.450	0.02	25.49	2550.22	2547.12	2551.52	2548.81	1.30	1.69
329	330	0.227	35.00	4.00	0.283	0.450	0.02	15.17	2546.91	2545.51	2548.81	2547.15	1.90	1.64
330	331	0.227	30.00	0.18	0.706	0.450	0.02	1.19	2545.09	2545.04	2547.15	2547.15	2.06	2.11



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
331	332	0.227	60.00	0.18	0.706	0.450	0.02	1.19	2545.03	2544.92	2547.15	2548.57	2.12	3.65
332	333	0.362	86.00	0.15	0.812	0.710	0.07	1.62	2544.90	2544.77	2548.57	2553.04	3.67	8.26
333	334	0.362	86.00	0.15	0.812	0.710	0.07	1.62	2544.77	2544.64	2553.04	2555.10	8.27	10.46
334	335	0.407	86.00	0.15	0.747	0.667	0.09	1.81	2544.66	2544.53	2555.10	2555.96	10.43	11.42
335	336	0.452	50.00	0.15	0.773	0.759	0.12	2.02	2544.51	2544.44	2555.96	2553.57	11.45	9.13
336	337	0.452	50.00	0.15	0.796	0.796	0.13	2.02	2544.41	2544.33	2553.57	2550.02	9.16	5.69
337	338	0.452	50.00	0.15	0.796	0.796	0.13	2.02	2544.32	2544.24	2550.02	2548.11	5.70	3.87
338	339	0.595	40.00	0.15	0.617	0.620	0.17	2.45	2544.35	2544.29	2548.11	2548.60	3.76	4.31
339	340	0.595	40.00	0.15	0.617	0.620	0.17	2.45	2544.28	2544.22	2548.60	2549.52	4.32	5.30
340	341	0.595	80.00	0.15	0.617	0.620	0.17	2.45	2544.20	2544.08	2549.52	2552.35	5.32	8.28
341	342	0.595	85.00	0.15	0.621	0.629	0.17	2.46	2544.05	2543.93	2552.35	2547.39	8.30	3.47
342	343	0.595	85.00	0.15	0.621	0.629	0.17	2.46	2543.64	2543.51	2547.39	2544.71	3.76	1.20
343	344	0.595	64.50	0.15	0.650	0.678	0.19	2.51	2543.47	2543.37	2544.71	2547.81	1.24	4.43
344	345	0.595	70.00	0.15	0.650	0.678	0.19	2.51	2543.35	2543.25	2547.81	2551.14	4.45	7.89
345	346	0.595	67.85	0.15	0.650	0.678	0.19	2.51	2543.23	2543.13	2551.14	2552.04	7.92	8.92
346	347	0.595	86.00	0.15	0.677	0.727	0.20	2.55	2543.09	2542.96	2552.04	2547.80	8.96	4.84
347	348	0.595	28.31	0.15	0.677	0.727	0.20	2.55	2542.94	2542.89	2547.80	2546.07	4.86	3.18
348	349	0.595	48.42	0.15	0.689	0.749	0.21	2.57	2541.80	2541.73	2546.07	2542.93	4.27	1.20
349	350	0.595	59.08	0.14	0.728	0.795	0.22	2.45	2539.05	2538.97	2542.93	2540.15	3.88	1.18
350	351	0.595	21.92	0.14	0.738	0.814	0.23	2.46	2538.87	2538.84	2542.93	2540.15	4.06	1.31
351	352	0.595	72.00	0.14	0.738	0.814	0.23	2.46	2535.34	2535.24	2540.15	2538.84	4.81	3.60
352	353	0.671	60.00	0.15	0.804	1.054	0.37	3.00	2535.15	2535.06	2538.84	2539.09	3.69	4.04



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
353	354	0.747	82.00	0.14	0.703	0.871	0.38	3.03	2535.13	2535.02	2539.09	2538.97	3.96	3.95
354	355	0.747	82.00	0.14	0.712	0.891	0.39	3.05	2535.01	2534.89	2538.97	2538.98	3.96	4.08
355	312	0.747	87.00	0.14	0.721	0.909	0.40	3.06	2534.89	2534.76	2538.98	2538.86	4.09	4.10
356	357	0.227	25.00	1.02	0.793	1.304	0.05	6.91	2537.68	2537.43	2539.30	2539.06	1.62	1.64
357	358	0.362	62.00	0.20	0.732	0.689	0.07	2.13	2536.89	2536.76	2539.06	2538.92	2.18	2.15
358	359	0.362	64.00	0.20	0.777	0.761	0.08	2.16	2536.74	2536.61	2538.92	2538.91	2.18	2.30
359	352	0.362	23.30	0.20	0.777	0.761	0.08	2.16	2535.29	2535.24	2538.91	2538.84	3.62	3.60
360	361	0.227	65.00	0.30	0.646	0.500	0.02	1.91	2537.89	2537.70	2539.19	2539.00	1.30	1.30
361	357	0.227	80.00	0.50	0.653	0.656	0.03	3.20	2537.27	2536.87	2539.00	2539.06	1.73	2.19
362	363	0.227	75.00	5.55	0.135	0.151	0.01	11.60	2543.82	2539.66	2545.09	2540.92	1.27	1.26
363	364	0.227	75.00	1.90	0.403	0.565	0.02	9.18	2539.42	2537.99	2540.92	2539.32	1.50	1.32
364	365	0.227	30.00	1.30	0.451	0.565	0.02	6.76	2537.81	2537.42	2539.32	2538.75	1.50	1.33
365	366	0.284	90.00	0.20	0.705	0.550	0.03	1.65	2537.25	2537.07	2538.75	2538.75	1.51	1.68
366	367	0.284	22.29	0.20	0.705	0.550	0.03	1.65	2537.06	2537.02	2538.75	2539.41	1.69	2.40
367	166	0.284	20.00	0.20	0.705	0.550	0.03	1.65	2537.01	2536.97	2539.41	2539.22	2.40	2.25
368	369	0.362	73.18	0.20	0.809	0.815	0.08	2.16	2536.73	2536.58	2539.47	2540.13	2.74	3.55
369	177	0.362	19.00	0.21	0.831	0.874	0.09	2.25	2536.54	2536.50	2540.13	2540.11	3.59	3.61
370	368	0.227	70.00	0.23	0.579	0.363	0.01	1.38	2537.62	2537.45	2539.14	2539.47	1.52	2.01
371	193	0.284	24.00	0.50	0.660	0.777	0.05	4.02	2538.73	2538.61	2540.38	2539.95	1.65	1.34
372	373	0.227	80.00	0.35	0.683	0.593	0.02	2.28	2539.00	2538.72	2540.35	2540.04	1.35	1.33
373	193	0.227	22.00	0.35	0.683	0.593	0.02	2.28	2538.71	2538.63	2540.04	2539.95	1.34	1.32
374	375	0.227	88.00	1.20	0.456	0.553	0.02	6.28	2541.15	2540.09	2542.45	2541.38	1.30	1.28



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
375	371	0.227	88.00	0.90	0.655	0.886	0.04	5.76	2539.83	2539.03	2541.38	2540.38	1.55	1.35
376	377	0.227	70.00	7.00	0.246	0.471	0.02	24.01	2549.62	2544.72	2550.92	2546.01	1.30	1.29
377	378	0.227	65.00	5.60	0.381	0.882	0.04	26.04	2544.43	2540.79	2546.01	2542.11	1.58	1.32
378	201	0.284	19.00	1.00	0.683	1.163	0.07	8.14	2539.32	2539.13	2542.11	2541.48	2.79	2.35
379	380	0.227	82.00	0.40	0.697	0.656	0.03	2.63	2540.69	2540.36	2542.09	2541.65	1.40	1.29
380	378	0.227	40.00	0.54	0.638	0.656	0.03	3.42	2539.64	2539.43	2541.65	2542.11	2.01	2.68
381	378	0.284	84.00	0.20	0.612	0.432	0.03	1.55	2540.17	2540.00	2541.67	2542.11	1.50	2.11
382	383	0.227	46.00	0.20	0.572	0.332	0.01	1.20	2540.35	2540.26	2541.65	2542.92	1.30	2.66
383	213	0.227	19.00	0.20	0.572	0.332	0.01	1.20	2540.25	2540.22	2542.92	2542.78	2.67	2.57
384	385	0.227	55.00	0.20	0.770	0.549	0.02	1.35	2539.20	2539.09	2540.40	2540.43	1.20	1.34
385	386	0.284	55.00	0.20	0.707	0.552	0.03	1.65	2539.11	2539.00	2540.43	2540.38	1.32	1.38
386	387	0.284	77.00	0.20	0.707	0.552	0.03	1.65	2538.93	2538.77	2540.38	2540.42	1.45	1.65
387	388	0.327	70.00	0.20	0.731	0.641	0.05	1.92	2538.76	2538.62	2540.42	2540.40	1.66	1.77
388	389	0.327	70.00	0.20	0.841	0.814	0.07	1.93	2538.58	2538.44	2540.40	2540.28	1.82	1.84
389	263	0.362	75.00	0.20	0.762	0.736	0.08	2.15	2538.46	2538.31	2540.28	2540.05	1.82	1.74
390	391	0.227	80.00	0.20	0.721	0.492	0.02	1.33	2538.58	2538.42	2539.78	2539.75	1.20	1.33
391	392	0.284	80.00	0.20	0.809	0.694	0.04	1.69	2538.08	2537.92	2539.75	2539.60	1.67	1.68
392	267	0.327	80.00	0.20	0.746	0.664	0.06	1.93	2537.86	2537.70	2539.60	2540.20	1.74	2.50
393	394	0.227	80.00	0.20	0.688	0.454	0.02	1.31	2538.54	2538.38	2539.84	2539.84	1.30	1.46
394	395	0.284	80.00	0.20	0.704	0.547	0.03	1.65	2538.38	2538.22	2539.84	2539.58	1.46	1.36
395	268	0.327	80.00	0.20	0.776	0.710	0.06	1.95	2537.86	2537.70	2539.58	2540.20	1.72	2.50
396	397	0.227	70.00	0.55	0.696	0.767	0.03	3.61	2538.69	2538.31	2540.29	2539.88	1.60	1.58



CIUDAD VERDE- DISEÑO DE AMARILO														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo Cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
397	398	0.327	70.00	0.20	0.677	0.563	0.05	1.87	2537.99	2537.85	2539.88	2539.86	1.90	2.01
398	399	0.362	51.13	0.20	0.790	0.784	0.08	2.16	2537.11	2537.01	2539.86	2539.81	2.75	2.80
399	400	0.407	77.00	0.20	0.657	0.620	0.08	2.30	2537.04	2536.89	2539.81	2539.99	2.77	3.10
400	401	0.407	77.00	0.20	0.700	0.689	0.09	2.36	2536.85	2536.70	2539.99	2540.03	3.14	3.34
401	299	0.452	33.50	0.20	0.719	0.774	0.12	2.64	2536.16	2536.10	2540.03	2539.69	3.87	3.60
402	403	0.227	50.00	0.48	0.701	0.726	0.03	3.16	2538.80	2538.56	2540.30	2540.30	1.50	1.74
403	404	0.284	50.00	0.20	0.638	0.464	0.03	1.58	2538.55	2538.45	2540.30	2540.30	1.75	1.85
404	405	0.284	90.00	0.20	0.811	0.696	0.04	1.69	2537.69	2537.51	2540.30	2539.86	2.61	2.35
405	406	0.327	78.00	0.20	0.649	0.525	0.04	1.84	2537.47	2537.32	2539.86	2539.81	2.38	2.49
406	398	0.362	25.87	0.20	0.688	0.620	0.06	2.08	2537.21	2537.16	2539.81	2539.81	2.60	2.65
407	408	0.284	80.00	0.90	0.404	0.454	0.03	5.45	2539.29	2538.57	2540.87	2540.16	1.58	1.59
408	409	0.327	80.00	0.20	0.698	0.593	0.05	1.89	2538.35	2538.19	2540.16	2539.85	1.80	1.65
409	401	0.327	50.00	0.20	0.698	0.593	0.05	1.89	2538.18	2538.08	2539.85	2540.03	1.66	1.95
410	411	0.362	70.00	0.20	0.394	0.241	0.02	1.52	2537.71	2537.57	2539.21	2539.56	1.50	1.99
411	412	0.362	70.00	0.20	0.394	0.241	0.02	1.52	2537.48	2537.34	2539.56	2539.58	2.08	2.24
412	292	0.362	70.00	0.20	0.394	0.241	0.02	1.52	2537.34	2537.20	2539.58	2539.87	2.25	2.67
413	352	0.327	85.24	0.20	0.420	0.251	0.02	1.43	2537.16	2536.99	2538.93	2538.84	1.77	1.85



Anexo 2 Diseño UTOPIA- Cumpliendo Norma

CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
1	2	0.362	89.336	0.190	0.687	0.249	0.074	1.989	2537.220	2537.050	2539.52	2539.45	2.30	2.40
2	3	0.452	34.003	0.118	0.756	0.342	0.118	1.576	2537.050	2537.010	2539.45	2539.41	2.40	2.40
3	4	0.452	65.410	0.214	0.800	0.362	0.170	2.886	2537.010	2536.870	2539.41	2539.27	2.40	2.40
4	5	0.595	64.862	0.108	0.614	0.365	0.178	1.768	2536.870	2536.800	2539.27	2539.3	2.40	2.50
5	6	0.595	64.992	0.154	0.564	0.335	0.187	2.413	2536.800	2536.700	2539.30	2539.2	2.50	2.50
6	7	0.595	81.999	0.122	0.846	0.503	0.280	2.161	2536.600	2536.500	2539.20	2539.2	2.60	2.70
7	8	0.671	81.999	0.085	0.753	0.505	0.288	1.697	2536.500	2536.430	2539.20	2539.23	2.70	2.80
8	9	0.671	62.900	0.159	0.610	0.410	0.296	2.931	2536.430	2536.330	2539.23	2539.33	2.80	3.00
9	10	0.671	75.002	0.093	0.742	0.498	0.296	1.849	2536.330	2536.260	2539.33	2539.36	3.00	3.10
10	11	0.671	75.002	0.173	0.606	0.406	0.305	3.182	2536.260	2536.130	2539.36	2539.43	3.10	3.30
11	12	0.671	35.098	0.313	0.504	0.338	0.305	5.183	2536.130	2536.020	2539.43	2539.32	3.30	3.30
12	13	0.671	87.004	0.115	0.765	0.513	0.340	2.290	2536.020	2535.920	2539.32	2539.42	3.30	3.50
13	14	0.747	86.998	0.081	0.713	0.533	0.349	1.758	2535.920	2535.850	2539.42	2539.45	3.50	3.60
14	15	0.747	71.409	0.084	0.714	0.533	0.356	1.834	2535.850	2535.790	2539.45	2539.59	3.60	3.80
15	16	0.747	9.997	1.000	0.340	0.254	0.356	13.860	2535.790	2535.690	2539.59	2539.59	3.80	3.90
16	17	0.747	57.645	0.503	0.751	0.561	0.928	11.126	2534.690	2534.400	2539.59	2539.5	4.90	5.10
17	18	0.747	52.172	0.575	0.713	0.533	0.931	12.553	2534.400	2534.100	2539.50	2539.5	5.10	5.40
18	19	0.747	64.286	0.404	0.847	0.632	0.935	8.993	2534.100	2533.840	2539.50	2539.44	5.40	5.60
19	20	0.747	9.356	0.855	0.624	0.466	0.944	17.731	2533.840	2533.760	2539.44	2539.46	5.60	5.70
20	21	0.747	11.998	0.583	0.717	0.535	0.944	12.755	2533.760	2533.690	2539.46	2539.49	5.70	5.80
21	22	0.747	68.003	0.456	0.803	0.600	0.948	10.164	2533.690	2533.380	2539.49	2539.48	5.80	6.10
22	414	0.747	10.500	0.952	0.604	0.451	0.948	19.441	2533.380	2533.280	2539.48	2539.68	6.10	6.40



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
23	24	0.284	29.501	0.170	0.713	0.203	0.038	1.407	2537.670	2537.620	2539.17	2539.22	1.50	1.60
24	25	0.327	50.001	0.140	0.586	0.192	0.038	1.232	2537.620	2537.550	2539.22	2539.15	1.60	1.60
25	26	0.327	85.001	0.235	0.500	0.163	0.038	1.887	2537.550	2537.350	2539.15	2539.05	1.60	1.70
26	27	0.327	89.997	0.167	0.752	0.246	0.059	1.614	2537.350	2537.200	2539.05	2539.1	1.70	1.90
27	28	0.362	40.498	0.198	0.724	0.262	0.081	2.098	2537.200	2537.120	2539.10	2538.82	1.90	1.70
28	29	0.362	32.003	0.406	0.563	0.204	0.081	3.874	2537.120	2536.990	2538.82	2538.59	1.70	1.60
29	30	0.362	15.002	0.533	0.518	0.188	0.081	4.843	2536.990	2536.910	2538.59	2539.01	1.60	2.10
30	31	0.452	90.003	0.100	0.710	0.321	0.101	1.319	2536.910	2536.820	2539.01	2539.22	2.10	2.40
31	32	0.452	75.001	0.093	0.837	0.378	0.117	1.257	2536.820	2536.750	2539.22	2539.35	2.40	2.60
32	6	0.452	75.001	0.200	0.660	0.298	0.130	2.571	2536.750	2536.600	2539.35	2539.2	2.60	2.60
33	30	0.227	49.996	0.360	0.510	0.116	0.019	2.029	2537.590	2537.410	2539.09	2539.01	1.50	1.60
34	50	0.227	74.999	0.373	0.261	0.059	0.005	1.265	2537.770	2537.490	2539.27	2539.29	1.50	1.80
35	36	0.227	29.200	0.377	0.677	0.154	0.029	2.456	2537.660	2537.550	2539.16	2539.15	1.50	1.60
36	37	0.227	60.798	0.280	0.763	0.173	0.029	1.884	2537.550	2537.380	2539.15	2539.18	1.60	1.80
37	38	0.327	90.008	0.144	0.835	0.273	0.061	1.408	2537.380	2537.250	2539.18	2539.65	1.80	2.40
38	12	0.327	21.203	0.142	0.845	0.276	0.061	1.378	2537.250	2537.220	2539.65	2539.32	2.40	2.10
39	40	0.823	69.594	0.115	0.665	0.548	0.492	2.701	2535.640	2535.560	2539.04	2539.06	3.40	3.50
40	41	0.823	49.239	0.122	0.657	0.540	0.497	2.848	2535.560	2535.500	2539.06	2539	3.50	3.50
41	42	0.823	83.936	0.083	0.771	0.634	0.503	2.041	2535.500	2535.430	2539.00	2539.33	3.50	3.90
42	43	0.823	51.996	0.077	0.812	0.668	0.510	1.889	2535.430	2535.390	2539.33	2539.19	3.90	3.80
43	44	0.823	50.911	0.079	0.810	0.667	0.514	1.931	2535.390	2535.350	2539.19	2539.25	3.80	3.90
44	45	0.823	76.205	0.236	0.631	0.520	0.653	5.426	2535.350	2535.170	2539.25	2539.07	3.90	3.90
45	46	0.823	26.844	0.261	0.623	0.513	0.673	5.954	2535.170	2535.100	2539.07	2539.2	3.90	4.10



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
46	47	0.823	100.945	0.168	0.731	0.602	0.673	4.079	2535.100	2534.930	2539.20	2539.33	4.10	4.40
47	16	0.823	74.174	0.189	0.708	0.582	0.684	4.528	2534.930	2534.790	2539.33	2539.59	4.40	4.80
48	49	0.227	79.991	0.275	0.631	0.143	0.023	1.742	2537.020	2536.800	2538.52	2539.2	1.50	2.40
49	50	0.327	80.005	0.138	0.737	0.241	0.052	1.326	2536.800	2536.690	2539.2	2539.29	2.40	2.60
50	51	0.327	89.998	0.178	0.720	0.235	0.058	1.704	2536.690	2536.530	2539.29	2539.03	2.60	2.50
51	52	0.407	88.039	0.102	0.700	0.285	0.076	1.209	2536.530	2536.440	2539.03	2539.04	2.50	2.60
52	53	0.452	69.999	0.157	0.675	0.305	0.118	2.037	2536.440	2536.330	2539.04	2539.03	2.60	2.70
53	54	0.452	70.613	0.198	0.713	0.322	0.143	2.619	2536.330	2536.190	2539.03	2539.09	2.70	2.90
54	55	0.452	26.493	0.227	0.678	0.306	0.143	2.942	2536.190	2536.130	2539.09	2539.23	2.90	3.10
55	56	0.452	26.504	0.189	0.727	0.329	0.143	2.506	2536.130	2536.080	2539.23	2539.28	3.10	3.20
56	57	0.452	49.999	0.180	0.741	0.335	0.143	2.402	2536.080	2535.990	2539.28	2539.39	3.20	3.40
57	58	0.452	54.266	0.147	0.848	0.383	0.148	1.983	2535.990	2535.910	2539.39	2539.11	3.40	3.20
58	59	0.452	54.999	0.200	0.730	0.330	0.148	2.659	2535.910	2535.800	2539.11	2539	3.20	3.20
59	60	0.452	55.563	0.252	0.683	0.309	0.153	3.283	2535.800	2535.660	2539	2539.36	3.20	3.70
60	61	0.595	59.999	0.083	0.677	0.403	0.180	1.424	2535.660	2535.610	2539.36	2539.31	3.70	3.70
61	62	0.595	45.506	0.154	0.560	0.333	0.185	2.403	2535.610	2535.540	2539.31	2539.34	3.70	3.80
62	63	0.595	58.711	0.085	0.747	0.444	0.207	1.499	2535.540	2535.490	2539.34	2539.39	3.80	3.90
63	44	0.671	58.703	0.068	0.650	0.436	0.212	1.292	2535.490	2535.450	2539.39	2539.25	3.90	3.80
64	65	0.227	79.975	0.213	0.707	0.160	0.023	1.407	2537.170	2537.000	2538.67	2538.7	1.50	1.70
65	52	0.284	80.006	0.200	0.819	0.233	0.049	1.695	2537.000	2536.840	2538.7	2539.04	1.70	2.20
66	67	0.227	90.001	0.289	0.504	0.114	0.016	1.617	2537.060	2536.800	2538.56	2538.8	1.50	2.00
67	68	0.227	45.003	0.200	0.724	0.164	0.023	1.333	2536.800	2536.710	2538.8	2538.91	2.00	2.20
68	69	0.227	45.768	0.350	0.666	0.151	0.028	2.266	2536.710	2536.550	2538.91	2538.85	2.20	2.30



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
69	70	0.284	55.001	0.182	0.678	0.193	0.037	1.484	2536.550	2536.450	2538.85	2538.85	2.30	2.40
70	60	0.284	48.460	0.186	0.788	0.224	0.045	1.572	2536.450	2536.360	2538.85	2539.36	2.40	3.00
71	67	0.227	60.002	0.583	0.318	0.072	0.010	2.330	2537.650	2537.300	2539.15	2538.8	1.50	1.50
72	69	0.227	90.001	0.222	0.498	0.113	0.014	1.233	2537.550	2537.350	2539.05	2538.85	1.50	1.50
73	74	0.227	79.997	0.288	0.489	0.111	0.015	1.577	2538.230	2538.000	2539.73	2539.7	1.50	1.70
74	75	0.227	49.999	0.340	0.539	0.122	0.020	1.981	2537.200	2537.030	2539.7	2539.23	2.50	2.20
75	76	0.227	41.611	0.264	0.681	0.155	0.025	1.728	2537.030	2536.920	2539.23	2539.02	2.20	2.10
76	77	0.227	54.740	0.329	0.734	0.167	0.030	2.198	2536.920	2536.740	2539.02	2538.94	2.10	2.20
77	62	0.284	47.946	0.209	0.664	0.188	0.039	1.689	2536.740	2536.640	2538.94	2539.34	2.20	2.70
78	74	0.227	74.999	0.347	0.292	0.066	0.007	1.291	2537.460	2537.200	2538.96	2539.7	1.50	2.50
79	76	0.227	79.820	0.276	0.363	0.082	0.009	1.221	2537.540	2537.320	2539.04	2539.02	1.50	1.70
80	81	0.227	55.001	0.364	0.293	0.067	0.007	1.359	2538.140	2537.940	2539.64	2539.84	1.50	1.90
81	41	0.227	54.997	0.800	0.385	0.087	0.017	3.712	2537.940	2537.500	2539.84	2539	1.90	1.50
82	83	0.227	55.005	0.491	0.272	0.062	0.007	1.721	2537.550	2537.280	2539.05	2538.88	1.50	1.60
83	42	0.227	54.991	0.273	0.516	0.117	0.016	1.549	2537.280	2537.130	2538.88	2539.33	1.60	2.20
84	85	0.284	87.997	0.182	0.551	0.156	0.027	1.343	2537.470	2537.310	2538.97	2539.11	1.50	1.80
85	86	0.327	87.997	0.159	0.720	0.236	0.055	1.525	2537.310	2537.170	2539.11	2539.07	1.80	1.90
86	87	0.362	85.934	0.186	0.687	0.249	0.073	1.947	2537.170	2537.010	2539.07	2539.21	1.90	2.20
87	88	0.671	57.824	0.208	0.636	0.427	0.359	3.899	2536.610	2536.490	2539.21	2539.09	2.60	2.60
88	89	0.671	63.974	0.203	0.649	0.436	0.366	3.853	2536.490	2536.360	2539.09	2539.16	2.60	2.80
89	90	0.671	80.152	0.162	0.713	0.479	0.372	3.181	2536.360	2536.230	2539.16	2538.83	2.80	2.60
90	91	0.747	67.360	0.149	0.665	0.497	0.431	3.166	2536.230	2536.130	2538.83	2538.83	2.60	2.70
91	92	0.747	80.008	0.150	0.671	0.501	0.438	3.208	2536.130	2536.010	2538.83	2538.91	2.70	2.90



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
92	93	0.823	80.008	0.088	0.688	0.566	0.449	2.080	2536.010	2535.940	2538.91	2538.94	2.90	3.00
93	94	0.823	85.634	0.058	0.821	0.675	0.449	1.435	2535.940	2535.890	2538.94	2538.99	3.00	3.10
94	95	0.823	81.180	0.173	0.556	0.457	0.458	3.711	2535.890	2535.750	2538.99	2539.05	3.10	3.30
95	39	0.823	85.182	0.129	0.616	0.507	0.466	2.932	2535.750	2535.640	2539.05	2538.92	3.30	3.28
96	97	0.284	87.997	0.250	0.712	0.202	0.046	2.074	2537.420	2537.200	2538.92	2538.9	1.50	1.70
97	98	0.407	88.004	0.125	0.714	0.290	0.086	1.487	2537.200	2537.090	2538.9	2539.49	1.70	2.40
98	99	0.407	70.004	0.129	0.798	0.325	0.099	1.562	2537.090	2537.000	2539.49	2539.1	2.40	2.10
99	90	0.407	16.533	0.423	0.522	0.212	0.099	4.340	2537.000	2536.930	2539.1	2538.88	2.10	1.95
100	101	0.227	72.005	0.250	0.567	0.129	0.018	1.500	2537.380	2537.200	2538.88	2538.9	1.50	1.70
101	102	0.227	73.065	0.178	0.770	0.175	0.024	1.201	2537.200	2537.070	2538.9	2539.07	1.70	2.00
102	103	0.284	70.977	0.197	0.751	0.213	0.044	1.658	2537.070	2536.930	2539.07	2539.13	2.00	2.20
103	39	0.327	51.836	0.174	0.659	0.216	0.051	1.614	2536.930	2536.840	2539.13	2539.04	2.20	2.20
104	105	0.975	70.007	0.243	0.744	0.725	1.297	6.994	2533.850	2533.680	2539.55	2539.38	5.70	5.70
105	106	0.975	70.997	0.296	0.690	0.673	1.302	8.342	2533.680	2533.470	2539.38	2539.47	5.70	6.00
106	107	0.975	61.999	0.210	0.813	0.792	1.324	6.104	2533.470	2533.340	2539.47	2539.34	6.00	6.00
107	108	0.975	60.004	0.233	0.773	0.754	1.327	6.766	2533.340	2533.200	2539.34	2539.6	6.00	6.40
108	109	0.975	12.492	0.721	0.534	0.521	1.382	17.949	2533.200	2533.110	2539.6	2539.51	6.40	6.40
109	110	0.975	69.999	0.286	0.742	0.723	1.402	8.225	2533.110	2532.910	2539.51	2539.31	6.40	6.40
110	111	0.975	37.004	0.270	0.765	0.746	1.412	7.824	2532.910	2532.810	2539.31	2539.41	6.40	6.60
111	112	0.975	24.002	0.292	0.740	0.721	1.412	8.390	2532.810	2532.740	2539.41	2539.34	6.60	6.60
112	113	0.975	49.998	0.340	0.698	0.680	1.416	9.622	2532.740	2532.570	2539.34	2539.37	6.60	6.80
113	114	0.975	58.003	0.259	0.782	0.763	1.416	7.511	2532.570	2532.420	2539.37	2539.62	6.80	7.20
114	115	0.975	14.502	0.276	0.762	0.743	1.421	7.982	2532.420	2532.380	2539.62	2539.38	7.20	7.00



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
115	116	0.975	56.699	0.265	0.776	0.757	1.421	7.679	2532.380	2532.230	2539.38	2539.63	7.00	7.40
116	117	0.975	52.005	0.404	0.657	0.640	1.421	11.176	2532.230	2532.020	2539.63	2539.52	7.40	7.50
117	414	0.975	8.228	0.486	0.617	0.601	1.423	13.087	2532.020	2531.980	2539.52	2539.68	7.50	7.70
118	119	0.227	85.008	0.306	0.467	0.106	0.015	1.628	2537.550	2537.290	2539.05	2538.99	1.50	1.70
119	120	0.284	84.994	0.165	0.728	0.207	0.039	1.375	2537.290	2537.150	2538.99	2538.95	1.70	1.80
120	121	0.327	74.998	0.187	0.670	0.219	0.054	1.747	2537.150	2537.010	2538.95	2539.61	1.80	2.60
121	106	0.327	9.998	0.400	0.523	0.171	0.054	3.301	2537.010	2536.970	2539.61	2538.77	2.60	1.80
122	123	0.227	55.000	0.291	0.525	0.119	0.018	1.670	2537.270	2537.110	2538.77	2539.01	1.50	1.90
123	124	0.227	55.000	0.309	0.691	0.157	0.027	2.030	2537.110	2536.940	2539.01	2539.24	1.90	2.30
124	125	0.362	62.496	0.208	0.716	0.259	0.082	2.203	2536.940	2536.810	2539.24	2539.31	2.30	2.50
125	126	0.362	62.002	0.194	0.818	0.296	0.091	2.091	2536.810	2536.690	2539.31	2539.09	2.50	2.40
126	127	0.407	65.003	0.169	0.735	0.299	0.104	2.029	2536.690	2536.580	2539.09	2538.68	2.40	2.10
127	128	0.407	70.008	0.186	0.758	0.309	0.113	2.241	2536.580	2536.450	2538.68	2538.85	2.10	2.40
128	129	0.407	22.996	0.304	0.636	0.259	0.115	3.469	2536.450	2536.380	2538.85	2539.08	2.40	2.70
129	108	0.407	24.003	0.333	0.617	0.251	0.115	3.745	2536.380	2536.300	2539.08	2539.6	2.70	3.30
130	131	0.227	70.000	0.243	0.770	0.175	0.028	1.639	2537.900	2537.730	2539.4	2539.43	1.50	1.70
131	124	0.284	69.993	0.272	0.609	0.173	0.039	2.116	2537.730	2537.540	2539.43	2539.24	1.70	1.70
132	133	0.227	66.994	0.209	0.708	0.161	0.023	1.383	2537.840	2537.700	2539.34	2539.3	1.50	1.60
133	124	0.284	67.009	0.239	0.569	0.162	0.033	1.797	2537.700	2537.540	2539.3	2539.24	1.60	1.70
134	135	0.227	70.003	0.257	0.440	0.100	0.012	1.314	2537.100	2536.920	2538.6	2538.52	1.50	1.60
135	126	0.227	69.995	0.186	0.700	0.159	0.022	1.225	2536.920	2536.790	2538.52	2539.09	1.60	2.30
136	137	0.227	52.994	0.283	0.413	0.094	0.011	1.383	2537.430	2537.280	2538.93	2539.08	1.50	1.80
137	138	0.227	55.007	0.236	0.511	0.116	0.015	1.333	2537.280	2537.150	2539.08	2539.05	1.80	1.90



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
138	139	0.227	59.998	0.267	0.559	0.127	0.019	1.587	2537.150	2536.990	2539.05	2539.09	1.90	2.10
139	140	0.227	59.996	0.200	0.780	0.177	0.025	1.352	2536.990	2536.870	2539.09	2539.37	2.10	2.50
140	141	0.227	66.003	0.258	0.701	0.159	0.025	1.700	2536.870	2536.700	2539.37	2539.3	2.50	2.60
141	142	0.284	65.995	0.227	0.597	0.170	0.035	1.754	2536.700	2536.550	2539.3	2539.35	2.60	2.80
142	143	0.284	66.003	0.212	0.703	0.200	0.042	1.753	2536.550	2536.410	2539.35	2539.81	2.80	3.40
143	144	0.327	23.999	0.125	0.750	0.245	0.051	1.210	2536.410	2536.380	2539.81	2539.98	3.40	3.60
144	145	0.327	29.500	0.305	0.549	0.179	0.051	2.590	2536.380	2536.290	2539.98	2539.89	3.60	3.60
145	109	0.327	13.997	0.572	0.456	0.149	0.051	4.313	2536.290	2536.210	2539.89	2539.51	3.60	3.30
146	147	0.227	79.999	0.375	0.309	0.070	0.008	1.464	2538.000	2537.700	2539.5	2539.5	1.50	1.80
147	148	0.227	59.999	0.333	0.592	0.134	0.023	2.047	2537.700	2537.500	2539.5	2539.5	1.80	2.00
148	19	0.227	16.742	0.358	0.578	0.131	0.023	2.174	2537.500	2537.440	2539.5	2539.44	2.00	2.00
149	150	0.975	84.363	0.166	0.601	0.586	0.800	4.412	2535.570	2535.430	2538.87	2538.83	3.30	3.40
150	151	0.975	82.282	0.182	0.601	0.586	0.838	4.845	2535.430	2535.280	2538.83	2538.88	3.40	3.60
151	152	0.975	50.000	0.140	0.691	0.673	0.897	3.949	2535.280	2535.210	2538.88	2538.91	3.60	3.70
152	153	0.975	45.000	0.156	0.666	0.649	0.900	4.331	2535.210	2535.140	2538.91	2538.94	3.70	3.80
153	154	0.975	50.999	0.137	0.699	0.682	0.902	3.888	2535.140	2535.070	2538.94	2538.87	3.80	3.80
154	155	0.975	68.994	0.130	0.758	0.739	0.971	3.771	2535.070	2534.980	2538.87	2538.88	3.80	3.90
155	156	0.975	67.000	0.239	0.608	0.593	0.976	6.384	2534.980	2534.820	2538.88	2539.02	3.90	4.20
156	157	0.975	36.867	0.244	0.604	0.589	0.976	6.502	2534.820	2534.730	2539.02	2539.03	4.20	4.30
157	158	0.975	74.991	0.147	0.725	0.706	0.976	4.199	2534.730	2534.620	2539.03	2539.02	4.30	4.40
158	159	0.975	45.010	0.133	0.757	0.739	0.981	3.854	2534.620	2534.560	2539.02	2538.96	4.40	4.40
159	160	0.975	17.997	0.111	0.829	0.809	0.981	3.232	2534.560	2534.540	2538.96	2539.04	4.40	4.50
160	161	0.975	60.005	0.217	0.726	0.707	1.188	6.202	2534.540	2534.410	2539.04	2539.01	4.50	4.60



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
161	162	0.975	67.997	0.177	0.794	0.775	1.188	5.133	2534.410	2534.290	2539.01	2539.19	4.60	4.90
162	163	0.975	39.995	0.300	0.644	0.628	1.192	8.237	2534.290	2534.170	2539.19	2539.47	4.90	5.30
163	164	0.975	58.001	0.276	0.663	0.647	1.192	7.668	2534.170	2534.010	2539.47	2539.41	5.30	5.40
164	104	0.975	45.000	0.356	0.609	0.594	1.194	9.514	2534.010	2533.850	2539.41	2539.55	5.40	5.70
165	166	0.227	79.998	0.288	0.502	0.114	0.016	1.604	2537.390	2537.160	2538.89	2539.36	1.50	2.20
166	167	0.327	87.989	0.136	0.665	0.217	0.046	1.272	2537.060	2536.940	2539.36	2539.34	2.30	2.40
167	168	0.327	38.004	0.211	0.677	0.221	0.058	1.978	2536.940	2536.860	2539.34	2539.46	2.40	2.60
168	169	0.407	63.994	0.109	0.593	0.241	0.062	1.205	2536.860	2536.790	2539.46	2539.19	2.60	2.40
169	170	0.407	71.008	0.239	0.514	0.209	0.073	2.433	2536.790	2536.620	2539.19	2538.92	2.40	2.30
170	150	0.407	10.001	0.900	0.355	0.145	0.073	7.036	2536.620	2536.530	2538.92	2538.83	2.30	2.30
171	172	0.227	50.005	0.400	0.321	0.073	0.008	1.608	2538.050	2537.850	2539.55	2539.65	1.50	1.80
172	167	0.227	49.995	0.220	0.605	0.137	0.019	1.365	2537.850	2537.740	2539.65	2539.34	1.80	1.60
173	174	0.227	50.007	0.400	0.300	0.068	0.007	1.522	2537.470	2537.270	2538.97	2539.07	1.50	1.80
174	169	0.227	50.000	0.360	0.499	0.113	0.018	2.001	2537.270	2537.090	2539.07	2539.19	1.80	2.10
175	176	0.227	70.004	0.614	0.304	0.069	0.009	2.366	2537.630	2537.200	2539.13	2538.7	1.50	1.50
176	177	0.227	69.999	0.271	0.571	0.130	0.019	1.636	2537.200	2537.010	2538.7	2540.11	1.50	3.10
177	178	0.407	68.005	0.206	0.668	0.272	0.101	2.395	2537.010	2536.870	2540.11	2539.67	3.10	2.80
178	179	0.452	86.500	0.104	0.732	0.331	0.107	1.384	2536.870	2536.780	2539.67	2539.18	2.80	2.40
179	180	0.452	65.503	0.199	0.601	0.272	0.113	2.446	2536.780	2536.650	2539.18	2539.35	2.40	2.70
180	151	0.452	9.997	0.700	0.414	0.187	0.113	6.821	2536.650	2536.580	2539.35	2538.88	2.70	2.30
181	182	0.227	64.999	0.369	0.267	0.061	0.006	1.276	2538.000	2537.760	2539.5	2539.56	1.50	1.80
182	178	0.227	65.001	0.292	0.421	0.096	0.012	1.447	2537.760	2537.570	2539.56	2539.67	1.80	2.10
183	184	0.227	50.005	0.540	0.243	0.055	0.006	1.719	2537.640	2537.370	2539.14	2539.27	1.50	1.90



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
184	179	0.227	50.001	0.380	0.374	0.085	0.011	1.725	2537.370	2537.180	2539.27	2539.18	1.90	2.00
185	186	0.227	72.995	0.466	0.374	0.085	0.012	2.111	2538.800	2538.460	2540.3	2539.96	1.50	1.50
186	187	0.227	30.003	1.733	0.265	0.060	0.012	5.955	2538.460	2537.940	2539.96	2539.44	1.50	1.50
187	188	0.362	79.996	0.313	0.670	0.242	0.091	3.236	2537.940	2537.690	2539.44	2539.29	1.50	1.60
188	189	0.362	41.603	0.409	0.710	0.257	0.113	4.317	2537.690	2537.520	2539.29	2539.12	1.60	1.60
189	190	0.407	33.598	0.238	0.697	0.284	0.115	2.812	2537.520	2537.440	2539.12	2539.24	1.60	1.80
190	191	0.452	66.004	0.152	0.738	0.333	0.131	2.019	2537.340	2537.240	2539.24	2539.04	1.90	1.80
191	154	0.407	9.998	0.700	0.529	0.215	0.131	7.240	2537.240	2537.170	2539.04	2538.87	1.80	1.70
192	193	0.227	88.010	1.352	0.387	0.088	0.022	6.296	2539.640	2538.450	2541.14	2539.95	1.50	1.50
193	187	0.284	40.001	1.275	0.586	0.166	0.079	9.742	2538.450	2537.940	2539.95	2539.44	1.50	1.50
194	195	0.227	60.006	0.333	0.416	0.094	0.012	1.637	2538.210	2538.010	2539.71	2539.81	1.50	1.80
195	188	0.227	59.996	0.367	0.558	0.127	0.022	2.182	2538.010	2537.790	2539.81	2539.29	1.80	1.50
196	188	0.227	72.002	0.486	0.434	0.099	0.016	2.461	2538.140	2537.790	2539.64	2539.29	1.50	1.50
197	198	0.227	60.009	0.367	0.344	0.078	0.009	1.560	2537.700	2537.480	2539.2	2539.18	1.50	1.70
198	190	0.227	59.999	0.233	0.637	0.145	0.021	1.484	2537.480	2537.340	2539.18	2539.24	1.70	1.90
199	200	0.227	43.997	0.477	0.484	0.110	0.020	2.604	2540.490	2540.280	2541.99	2541.78	1.50	1.50
200	201	0.227	54.377	0.552	0.465	0.105	0.020	2.927	2540.280	2539.980	2541.78	2541.48	1.50	1.50
201	202	0.284	74.027	2.094	0.553	0.157	0.093	15.506	2539.780	2538.230	2541.48	2539.73	1.70	1.50
202	203	0.327	73.999	0.487	0.774	0.253	0.104	4.733	2538.230	2537.870	2539.73	2539.97	1.50	2.10
203	204	0.327	64.002	0.719	0.761	0.249	0.124	6.975	2537.870	2537.410	2539.97	2539.01	2.10	1.60
204	205	0.407	62.004	0.274	0.781	0.318	0.142	3.324	2537.410	2537.240	2539.01	2539.04	1.60	1.80
205	206	0.452	71.002	0.268	0.664	0.300	0.151	3.449	2537.240	2537.050	2539.04	2539.05	1.80	2.00
206	207	0.452	29.995	0.200	0.751	0.340	0.153	2.676	2537.050	2536.990	2539.05	2538.99	2.00	2.00



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
207	160	0.595	19.962	0.251	0.702	0.418	0.329	4.336	2536.990	2536.940	2538.99	2539.04	2.00	2.10
208	201	0.227	75.634	0.344	0.436	0.099	0.014	1.745	2540.140	2539.880	2541.64	2541.48	1.50	1.60
209	203	0.227	82.000	0.195	0.622	0.141	0.019	1.227	2538.130	2537.970	2539.63	2539.97	1.50	2.00
210	205	0.227	78.008	1.000	0.382	0.087	0.019	4.612	2538.320	2537.540	2539.82	2539.04	1.50	1.50
211	212	0.227	52.015	1.654	0.807	0.183	0.076	11.205	2545.000	2544.140	2546.5	2545.84	1.50	1.70
212	213	0.227	56.070	5.107	0.602	0.137	0.091	31.635	2544.140	2541.280	2545.84	2542.78	1.70	1.50
213	214	0.327	61.997	0.516	0.742	0.243	0.102	4.985	2539.880	2539.560	2542.78	2541.66	2.90	2.10
214	215	0.327	68.002	0.706	0.785	0.257	0.127	6.879	2539.460	2538.980	2541.66	2540.58	2.20	1.60
215	216	0.327	68.008	1.485	0.614	0.201	0.134	13.382	2538.980	2537.970	2540.58	2539.57	1.60	1.60
216	217	0.362	76.003	0.500	0.814	0.294	0.146	5.403	2537.970	2537.590	2539.57	2539.19	1.60	1.60
217	218	0.362	30.364	0.856	0.819	0.296	0.192	9.253	2537.490	2537.230	2539.19	2538.83	1.70	1.60
218	219	0.595	83.002	0.157	0.577	0.343	0.195	2.486	2537.230	2537.100	2538.83	2539.1	1.60	2.00
219	207	0.595	81.997	0.134	0.653	0.389	0.218	2.262	2537.100	2536.990	2539.1	2538.99	2.00	2.00
220	213	0.227	47.994	0.313	0.342	0.078	0.008	1.324	2540.130	2539.980	2541.63	2542.78	1.50	2.80
221	222	0.227	92.196	22.257	0.199	0.045	0.024	59.382	2557.740	2537.710	2559.24	2539.21	1.50	1.50
222	217	0.284	68.303	0.322	0.711	0.202	0.053	2.671	2537.710	2537.490	2539.21	2539.19	1.50	1.70
223	224	0.227	89.990	0.256	0.727	0.165	0.027	1.705	2537.410	2537.180	2538.91	2538.88	1.50	1.70
224	225	0.284	90.003	0.167	0.659	0.187	0.034	1.346	2537.180	2537.030	2538.88	2539.03	1.70	2.00
225	226	0.327	90.002	0.167	0.657	0.215	0.050	1.548	2537.030	2536.880	2539.03	2538.98	2.00	2.10
226	227	0.327	90.003	0.189	0.630	0.206	0.050	1.722	2536.880	2536.710	2538.98	2538.51	2.10	1.80
227	228	0.327	89.996	0.200	0.798	0.261	0.069	1.951	2536.710	2536.530	2538.51	2538.73	1.80	2.20
228	229	0.407	78.006	0.167	0.816	0.332	0.115	2.025	2536.530	2536.400	2538.73	2538.6	2.20	2.20
229	230	0.452	73.993	0.149	0.715	0.323	0.125	1.966	2536.400	2536.290	2538.6	2539.29	2.20	3.00



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
230	231	0.452	54.715	0.201	0.721	0.326	0.146	2.663	2536.290	2536.180	2539.29	2539.58	3.00	3.40
231	104	0.595	28.002	0.107	0.542	0.323	0.146	1.642	2536.180	2536.150	2539.58	2539.55	3.40	3.40
232	233	0.227	88.007	0.409	0.766	0.174	0.036	2.759	2537.640	2537.280	2539.14	2538.88	1.50	1.60
233	228	0.327	88.002	0.171	0.774	0.253	0.062	1.659	2537.280	2537.130	2538.88	2538.73	1.60	1.60
234	235	0.227	65.003	0.215	0.637	0.145	0.020	1.371	2538.180	2538.040	2539.68	2539.68	1.50	1.64
235	236	0.227	64.999	0.262	0.771	0.175	0.029	1.765	2538.040	2537.870	2539.64	2539.64	1.60	1.77
236	237	0.327	73.497	0.177	0.669	0.219	0.052	1.654	2537.870	2537.740	2539.57	2539.57	1.70	1.83
237	238	0.327	60.004	0.217	0.726	0.237	0.065	2.081	2537.740	2537.610	2539.44	2539.44	1.70	1.83
238	104	0.327	10.003	0.600	0.516	0.169	0.065	4.906	2537.610	2537.550	2539.51	2539.55	1.90	2.00
239	240	0.227	59.994	0.233	0.583	0.132	0.019	1.421	2538.390	2538.250	2539.89	2539.75	1.50	1.50
240	236	0.227	60.007	0.300	0.767	0.174	0.031	2.023	2538.250	2538.070	2539.75	2539.79	1.50	1.72
241	242	0.284	74.995	0.227	0.548	0.156	0.030	1.670	2538.290	2538.120	2539.79	2540.02	1.50	1.90
242	243	0.327	75.009	0.213	0.623	0.204	0.052	1.935	2538.120	2537.960	2540.02	2540.26	1.90	2.30
243	271	0.327	75.281	0.199	0.638	0.209	0.052	1.827	2537.960	2537.810	2540.26	2539.54	2.30	1.73
244	245	0.227	90.001	0.267	0.603	0.137	0.021	1.653	2538.040	2537.800	2539.54	2539.6	1.50	1.80
245	246	0.284	90.006	0.156	0.659	0.187	0.033	1.255	2537.800	2537.660	2539.6	2539.86	1.80	2.20
246	247	0.284	66.300	0.226	0.581	0.165	0.033	1.721	2537.660	2537.510	2539.86	2539.61	2.20	2.10
247	248	0.284	68.000	0.265	0.673	0.191	0.044	2.154	2537.510	2537.330	2539.61	2539.53	2.10	2.20
248	1	0.327	59.498	0.185	0.704	0.230	0.057	1.760	2537.330	2537.220	2539.53	2539.52	2.20	2.30
249	250	0.227	75.002	0.267	0.443	0.101	0.012	1.369	2538.530	2538.330	2540.03	2539.83	1.50	1.50
250	251	0.227	74.995	0.240	0.774	0.176	0.028	1.621	2538.330	2538.150	2539.83	2539.85	1.50	1.70
251	252	0.284	75.010	0.240	0.771	0.219	0.050	2.027	2538.150	2537.970	2539.85	2539.87	1.70	1.90
252	253	0.284	74.995	0.227	0.792	0.225	0.050	1.920	2537.970	2537.800	2539.87	2539.9	1.90	2.10



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
253	2	0.327	60.117	0.250	0.653	0.213	0.060	2.310	2537.800	2537.650	2539.9	2539.45	2.10	1.80
254	255	0.284	74.997	0.253	0.572	0.162	0.034	1.910	2538.540	2538.350	2540.04	2539.85	1.50	1.50
255	256	0.284	75.003	0.240	0.582	0.165	0.034	1.827	2538.350	2538.170	2539.85	2539.87	1.50	1.70
256	257	0.284	75.002	0.253	0.758	0.215	0.050	2.133	2538.170	2537.980	2539.87	2539.88	1.70	1.90
257	258	0.327	74.995	0.173	0.799	0.261	0.064	1.691	2537.980	2537.850	2539.88	2539.95	1.90	2.10
258	3	0.327	60.245	0.232	0.779	0.255	0.073	2.263	2537.850	2537.710	2539.95	2539.41	2.10	1.70
259	260	0.227	54.964	0.200	0.586	0.133	0.017	1.223	2538.910	2538.800	2540.41	2541	1.50	2.20
260	261	0.227	70.069	0.228	0.562	0.128	0.017	1.364	2538.800	2538.640	2541	2540.44	2.20	1.80
261	262	0.284	69.907	0.272	0.584	0.166	0.036	2.073	2538.640	2538.450	2540.44	2540.05	1.80	1.60
262	263	0.284	6.202	1.613	0.351	0.100	0.036	8.711	2538.450	2538.350	2540.05	2540.05	1.60	1.70
263	264	0.407	62.008	0.129	0.807	0.328	0.100	1.567	2538.050	2537.970	2540.05	2539.97	2.00	2.00
264	265	0.407	61.994	0.177	0.747	0.304	0.108	2.135	2537.970	2537.860	2539.97	2540.06	2.00	2.20
265	266	0.452	61.994	0.145	0.686	0.310	0.116	1.894	2537.860	2537.770	2540.06	2539.97	2.20	2.20
266	267	0.452	80.073	0.212	0.641	0.290	0.128	2.697	2537.770	2537.600	2539.97	2540.2	2.20	2.60
267	268	0.595	33.348	0.300	0.527	0.314	0.234	4.523	2537.100	2537.000	2540.2	2540.2	3.10	3.20
268	269	0.671	46.694	0.086	0.802	0.538	0.309	1.716	2536.900	2536.860	2540.2	2539.36	3.30	2.50
269	270	0.671	81.997	0.171	0.613	0.412	0.309	3.154	2536.860	2536.720	2539.36	2539.02	2.50	2.30
270	87	0.671	90.176	0.122	0.703	0.472	0.316	2.383	2536.720	2536.610	2539.02	2539.21	2.30	2.60
271	272	0.327	59.585	0.168	0.678	0.222	0.052	1.577	2537.810	2537.710	2540.61	2540.01	2.80	2.30
272	273	0.327	64.001	0.188	0.651	0.213	0.052	1.735	2537.710	2537.590	2540.01	2539.99	2.30	2.40
273	274	0.362	62.006	0.145	0.684	0.248	0.064	1.515	2537.590	2537.500	2539.99	2539.3	2.40	1.80
274	275	0.362	69.000	0.145	0.685	0.248	0.064	1.513	2537.500	2537.400	2539.3	2539.1	1.80	1.70
275	276	0.362	69.533	0.230	0.636	0.230	0.073	2.332	2537.400	2537.240	2539.1	2538.94	1.70	1.70



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
276	277	0.407	69.548	0.101	0.753	0.307	0.082	1.214	2537.240	2537.170	2538.94	2539.37	1.70	2.20
277	267	0.595	79.587	0.088	0.453	0.270	0.098	1.203	2537.170	2537.100	2539.37	2540.2	2.20	3.10
278	279	0.227	61.995	0.307	0.385	0.087	0.010	1.422	2537.820	2537.630	2539.32	2539.13	1.50	1.50
279	280	0.227	62.001	0.242	0.650	0.147	0.022	1.552	2537.630	2537.480	2539.13	2539.28	1.50	1.80
280	281	0.284	85.507	0.187	0.561	0.159	0.028	1.397	2537.480	2537.320	2539.28	2539.42	1.80	2.10
281	282	0.284	84.001	0.238	0.591	0.168	0.035	1.828	2537.320	2537.120	2539.42	2539.92	2.10	2.80
282	283	0.452	66.699	0.105	0.528	0.239	0.067	1.203	2537.120	2537.050	2539.92	2539.65	2.80	2.60
283	268	0.452	89.592	0.167	0.460	0.208	0.067	1.757	2537.050	2536.900	2539.65	2540.2	2.60	3.30
284	285	0.227	75.004	0.413	0.538	0.122	0.022	2.407	2538.670	2538.360	2540.17	2539.86	1.50	1.50
285	282	0.227	75.002	0.187	0.703	0.159	0.022	1.233	2538.360	2538.220	2539.86	2539.92	1.50	1.70
286	287	0.284	64.997	0.754	0.821	0.233	0.094	6.391	2538.330	2537.840	2539.83	2539.34	1.50	1.50
287	288	0.362	70.395	0.313	0.723	0.262	0.101	3.319	2537.840	2537.620	2539.34	2539.32	1.50	1.70
288	289	0.407	81.994	0.122	0.840	0.342	0.101	1.480	2537.620	2537.520	2539.32	2539.42	1.70	1.90
289	290	0.452	80.001	0.125	0.681	0.308	0.107	1.626	2537.520	2537.420	2539.42	2539.52	1.90	2.10
290	291	0.452	80.001	0.125	0.776	0.351	0.126	1.681	2537.420	2537.320	2539.52	2539.62	2.10	2.30
291	292	0.452	16.700	0.299	0.744	0.336	0.185	3.999	2537.320	2537.270	2539.62	2539.87	2.30	2.60
292	293	0.595	51.003	0.137	0.625	0.372	0.207	2.268	2537.170	2537.100	2539.87	2539.9	2.70	2.80
293	294	0.595	32.996	0.152	0.605	0.360	0.207	2.465	2537.100	2537.050	2539.9	2539.95	2.80	2.90
294	295	0.595	90.003	0.078	0.828	0.492	0.220	1.381	2537.050	2536.980	2539.95	2539.88	2.90	2.90
295	296	0.595	89.998	0.111	0.723	0.430	0.227	1.940	2536.980	2536.880	2539.88	2539.88	2.90	3.00
296	297	0.671	89.998	0.067	0.773	0.518	0.262	1.331	2536.880	2536.820	2539.88	2539.82	3.00	3.00
297	298	0.671	89.998	0.067	0.797	0.535	0.271	1.335	2536.820	2536.760	2539.82	2539.96	3.00	3.20
298	299	0.671	90.007	0.078	0.766	0.514	0.280	1.551	2536.760	2536.690	2539.96	2539.69	3.20	3.00



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
299	300	0.671	88.005	0.114	0.820	0.550	0.363	2.275	2536.690	2536.590	2539.69	2539.19	3.00	2.60
300	301	0.671	71.997	0.181	0.684	0.459	0.371	3.495	2536.590	2536.460	2539.19	2539.06	2.60	2.60
301	302	0.747	72.004	0.083	0.754	0.563	0.379	1.843	2536.460	2536.400	2539.06	2539	2.60	2.60
302	303	0.747	71.994	0.139	0.688	0.514	0.437	2.998	2536.400	2536.300	2539	2538.9	2.60	2.60
303	304	0.747	75.003	0.133	0.709	0.530	0.445	2.905	2536.300	2536.200	2538.9	2538.8	2.60	2.60
304	305	0.747	36.574	0.273	0.555	0.415	0.445	5.335	2536.200	2536.100	2538.8	2538.8	2.60	2.70
305	306	0.747	50.004	0.220	0.595	0.444	0.445	4.456	2536.100	2535.990	2538.8	2538.89	2.70	2.90
306	307	0.747	17.098	0.176	0.649	0.485	0.453	3.704	2535.990	2535.960	2538.89	2538.86	2.90	2.90
307	308	0.747	32.906	0.122	0.814	0.608	0.496	2.712	2535.960	2535.920	2538.86	2538.92	2.90	3.00
308	309	0.747	34.993	0.143	0.753	0.563	0.496	3.162	2535.920	2535.870	2538.92	2538.87	3.00	3.00
309	310	0.747	62.006	0.177	0.691	0.516	0.496	3.834	2535.870	2535.760	2538.87	2538.86	3.00	3.10
310	311	0.823	60.065	0.100	0.713	0.587	0.502	2.403	2535.760	2535.700	2538.86	2538.9	3.10	3.20
311	312	0.823	34.328	0.117	0.673	0.554	0.502	2.748	2535.700	2535.660	2538.9	2538.86	3.20	3.20
312	149	0.823	35.247	0.255	0.708	0.583	0.796	6.128	2535.660	2535.570	2538.86	2538.87	3.20	3.30
313	314	0.227	50.002	0.500	0.757	0.172	0.039	3.365	2538.250	2538.000	2539.75	2539.5	1.50	1.50
314	315	0.284	90.002	0.233	0.794	0.225	0.051	1.976	2538.000	2537.790	2539.5	2539.49	1.50	1.70
315	316	0.284	79.997	0.513	0.821	0.233	0.078	4.344	2537.790	2537.380	2539.49	2539.28	1.70	1.90
316	307	0.327	25.936	0.463	0.631	0.206	0.078	4.221	2537.380	2537.260	2539.28	2538.86	1.90	1.60
317	318	0.284	40.007	0.250	0.547	0.155	0.032	1.839	2537.350	2537.250	2538.85	2538.85	1.50	1.60
318	319	0.284	84.814	0.224	0.702	0.199	0.043	1.851	2537.250	2537.060	2538.85	2539.16	1.60	2.10
319	320	0.327	90.000	0.189	0.658	0.215	0.053	1.755	2537.060	2536.890	2539.16	2539.59	2.10	2.70
320	321	0.362	90.000	0.167	0.769	0.278	0.079	1.794	2536.890	2536.740	2539.59	2539.94	2.70	3.20
321	302	0.407	90.000	0.156	0.718	0.292	0.097	1.855	2536.740	2536.600	2539.94	2539	3.20	2.40



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
322	323	0.227	60.002	0.350	0.810	0.184	0.035	2.372	2538.560	2538.350	2540.06	2539.95	1.50	1.60
323	324	0.284	60.002	0.400	0.706	0.200	0.058	3.310	2538.350	2538.110	2539.95	2539.61	1.60	1.50
324	296	0.327	17.006	0.176	0.725	0.237	0.058	1.694	2538.110	2538.080	2539.61	2539.88	1.50	1.80
325	326	0.284	52.827	0.379	0.746	0.212	0.061	3.178	2538.800	2538.600	2540.3	2540.3	1.50	1.70
326	327	0.284	76.620	0.653	0.781	0.222	0.084	5.520	2538.600	2538.100	2540.3	2540.3	1.70	2.20
327	291	0.362	35.637	0.225	0.709	0.257	0.084	2.371	2538.100	2538.020	2540.3	2539.62	2.20	1.60
328	329	0.227	40.098	6.774	0.231	0.052	0.018	20.662	2550.020	2547.310	2551.52	2548.81	1.50	1.50
329	330	0.227	35.035	4.744	0.253	0.057	0.018	15.633	2547.310	2545.650	2548.81	2547.15	1.50	1.50
330	331	0.227	29.996	0.333	0.516	0.117	0.018	1.894	2545.650	2545.550	2547.15	2547.15	1.50	1.60
331	332	0.227	60.005	0.300	0.533	0.121	0.018	1.737	2545.550	2545.370	2547.15	2548.57	1.60	3.20
332	333	0.362	85.999	0.151	0.746	0.270	0.073	1.618	2545.370	2545.240	2548.57	2553.04	3.20	7.80
333	334	0.362	86.006	0.163	0.724	0.262	0.073	1.729	2545.240	2545.100	2553.04	2555.1	7.80	10.00
334	335	0.362	85.994	0.279	0.672	0.243	0.087	2.894	2545.100	2544.860	2555.1	2555.96	10.00	11.10
335	336	0.407	50.004	0.180	0.831	0.338	0.122	2.185	2544.860	2544.770	2555.96	2553.57	11.10	8.80
336	337	0.407	50.001	0.300	0.690	0.281	0.128	3.532	2544.770	2544.620	2553.57	2550.02	8.80	5.40
337	338	0.407	49.993	0.220	0.786	0.320	0.128	2.669	2544.620	2544.510	2550.02	2548.11	5.40	3.60
338	339	0.407	40.033	0.500	0.715	0.291	0.173	5.948	2544.510	2544.310	2548.11	2548.11	3.60	3.80
339	340	0.407	40.002	0.475	0.730	0.297	0.173	5.687	2544.310	2544.120	2548.11	2549.52	3.80	5.40
340	341	0.407	80.004	0.463	0.738	0.300	0.173	5.552	2544.120	2543.750	2549.52	2552.35	5.40	8.60
341	342	0.407	85.002	0.424	0.776	0.316	0.175	5.130	2543.750	2543.390	2552.35	2547.39	8.60	4.00
342	343	0.407	85.028	0.447	0.758	0.308	0.175	5.393	2543.390	2543.010	2547.39	2544.71	4.00	1.70
343	344	0.407	64.499	0.465	0.798	0.325	0.189	5.648	2543.010	2542.710	2544.71	2547.81	1.70	5.10
344	345	0.407	70.004	0.529	0.752	0.306	0.189	6.370	2542.710	2542.340	2547.81	2551.14	5.10	8.80



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
345	346	0.407	67.856	0.442	0.820	0.334	0.189	5.371	2542.340	2542.040	2551.14	2552.04	8.80	10.00
346	347	0.407	86.000	0.512	0.816	0.332	0.202	6.216	2542.040	2541.600	2552.04	2547.8	10.00	6.20
347	348	0.407	28.311	0.812	0.671	0.273	0.202	9.466	2541.600	2541.370	2547.8	2546.07	6.20	4.70
348	349	0.407	48.418	0.702	0.726	0.296	0.208	8.395	2541.370	2541.030	2546.07	2542.93	4.70	1.90
349	350	0.407	50.434	4.207	0.428	0.174	0.221	37.771	2541.030	2538.910	2542.93	2540.61	1.90	1.70
350	351	0.407	27.614	1.666	0.569	0.232	0.226	17.958	2538.910	2538.450	2540.61	2540.15	1.70	1.70
351	352	0.407	72.014	1.819	0.553	0.225	0.226	19.311	2538.450	2537.140	2540.15	2538.84	1.70	1.70
352	353	0.747	59.995	0.083	0.743	0.555	0.373	1.838	2537.040	2536.990	2538.84	2539.09	1.80	2.10
353	354	0.747	82.007	0.146	0.615	0.459	0.382	3.012	2536.990	2536.870	2539.09	2538.97	2.10	2.10
354	355	0.747	81.996	0.110	0.691	0.516	0.390	2.373	2536.870	2536.780	2538.97	2538.98	2.10	2.20
355	312	0.747	87.003	0.138	0.646	0.482	0.399	2.904	2536.780	2536.660	2538.98	2538.86	2.20	2.20
356	357	0.227	85.003	0.824	0.797	0.181	0.053	5.577	2538.260	2537.560	2539.76	2539.06	1.50	1.50
357	358	0.327	62.004	0.226	0.773	0.253	0.071	2.196	2537.360	2537.220	2539.06	2538.92	1.70	1.70
358	359	0.362	63.999	0.172	0.749	0.271	0.078	1.841	2537.220	2537.110	2538.92	2538.91	1.70	1.80
359	352	0.362	23.298	0.301	0.610	0.221	0.078	2.986	2537.110	2537.040	2538.91	2538.84	1.80	1.80
360	361	0.227	65.029	0.292	0.573	0.130	0.020	1.764	2537.690	2537.500	2539.19	2539	1.50	1.50
361	357	0.284	79.999	0.175	0.549	0.156	0.027	1.291	2537.500	2537.360	2539	2539.76	1.50	2.40
362	363	0.227	75.113	5.560	0.142	0.032	0.006	10.932	2543.590	2539.420	2545.09	2540.92	1.50	1.50
363	364	0.227	75.021	2.133	0.349	0.079	0.023	9.179	2539.420	2537.820	2540.92	2539.32	1.50	1.50
364	365	0.227	30.005	1.900	0.360	0.082	0.023	8.374	2537.820	2537.250	2539.32	2538.75	1.50	1.50
365	366	0.284	67.828	0.147	0.699	0.198	0.035	1.216	2537.250	2537.150	2538.75	2538.75	1.50	1.60
366	367	0.284	22.171	0.180	0.649	0.184	0.035	1.447	2537.150	2537.110	2538.75	2539.41	1.60	2.30
367	166	0.284	20.008	0.250	0.582	0.165	0.035	1.903	2537.110	2537.060	2539.41	2539.36	2.30	2.30



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
368	369	0.362	67.127	0.209	0.731	0.265	0.084	2.222	2537.470	2537.330	2539.47	2540.13	2.00	2.80
369	177	0.407	18.993	0.105	0.800	0.326	0.090	1.279	2537.330	2537.310	2540.13	2540.11	2.80	2.80
370	368	0.227	70.037	0.243	0.499	0.113	0.015	1.350	2537.640	2537.470	2539.14	2540.38	1.50	2.91
371	193	0.227	24.003	1.792	0.567	0.129	0.049	10.754	2538.880	2538.450	2540.38	2539.95	1.50	1.50
372	373	0.227	80.006	0.388	0.585	0.133	0.024	2.364	2538.850	2538.540	2540.35	2540.04	1.50	1.50
373	193	0.227	21.995	0.409	0.575	0.130	0.024	2.473	2538.540	2538.450	2540.04	2539.95	1.50	1.50
374	375	0.227	88.004	1.216	0.402	0.091	0.022	5.819	2540.950	2539.880	2542.45	2541.38	1.50	1.50
375	371	0.227	88.010	1.136	0.537	0.122	0.036	6.608	2539.880	2538.880	2541.38	2540.38	1.50	1.50
376	377	0.227	70.173	7.014	0.234	0.053	0.019	21.651	2549.420	2544.510	2550.92	2546.01	1.50	1.50
377	378	0.227	65.114	6.000	0.336	0.076	0.036	25.057	2544.510	2540.610	2546.01	2542.11	1.50	1.50
378	201	0.284	18.996	0.684	0.689	0.196	0.074	5.618	2539.910	2539.780	2542.11	2541.48	2.20	1.70
379	380	0.227	82.007	0.537	0.562	0.128	0.027	3.204	2540.590	2540.150	2542.09	2541.65	1.50	1.50
380	378	0.227	39.993	0.350	0.647	0.147	0.027	2.242	2540.150	2540.010	2541.65	2542.11	1.50	2.10
381	378	0.227	84.006	0.310	0.691	0.157	0.027	2.033	2540.170	2539.910	2541.67	2542.11	1.50	2.20
382	383	0.227	46.001	0.283	0.454	0.103	0.013	1.475	2540.150	2540.020	2541.65	2542.92	1.50	2.90
383	213	0.227	19.004	0.737	0.349	0.079	0.013	3.168	2540.020	2539.880	2542.92	2542.78	2.90	2.90
384	385	0.227	55.001	0.309	0.598	0.136	0.022	1.908	2538.900	2538.730	2540.4	2540.43	1.50	1.70
385	386	0.284	55.001	0.273	0.568	0.161	0.035	2.049	2538.730	2538.580	2540.43	2540.38	1.70	1.80
386	387	0.284	77.003	0.208	0.620	0.176	0.035	1.633	2538.580	2538.420	2540.38	2540.42	1.80	2.00
387	388	0.327	69.997	0.171	0.691	0.226	0.054	1.622	2538.420	2538.300	2540.42	2540.4	2.00	2.10
388	389	0.362	70.000	0.171	0.674	0.244	0.068	1.779	2538.300	2538.180	2540.4	2540.28	2.10	2.10
389	263	0.362	73.627	0.177	0.721	0.261	0.076	1.874	2538.180	2538.050	2540.28	2540.05	2.10	2.00
390	391	0.227	79.998	0.288	0.570	0.129	0.020	1.731	2538.280	2538.050	2539.78	2539.75	1.50	1.70



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (normativa)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
391	392	0.284	80.003	0.188	0.766	0.218	0.044	1.582	2538.050	2537.900	2539.75	2539.6	1.70	1.70
392	267	0.327	79.997	0.125	0.817	0.267	0.056	1.220	2537.900	2537.800	2539.6	2540.2	1.70	2.40
393	394	0.227	80.003	0.250	0.567	0.129	0.018	1.500	2538.340	2538.140	2539.84	2539.84	1.50	1.70
394	395	0.284	79.994	0.200	0.625	0.177	0.035	1.577	2538.140	2537.980	2539.84	2539.58	1.70	1.60
395	268	0.284	80.001	0.350	0.761	0.216	0.060	2.950	2537.980	2537.700	2539.58	2540.2	1.60	2.50
396	397	0.227	67.998	0.603	0.598	0.136	0.031	3.723	2538.790	2538.380	2540.29	2539.88	1.50	1.50
397	398	0.284	69.996	0.243	0.730	0.207	0.047	2.029	2538.380	2538.210	2539.88	2539.81	1.50	1.60
398	399	0.327	51.124	0.293	0.771	0.252	0.081	2.853	2538.110	2537.960	2539.81	2539.76	1.70	1.80
399	400	0.362	77.002	0.221	0.694	0.251	0.081	2.316	2537.960	2537.790	2539.76	2539.99	1.80	2.20
400	401	0.362	77.002	0.208	0.777	0.281	0.090	2.239	2537.790	2537.630	2539.99	2540.03	2.20	2.40
401	299	0.452	33.492	0.119	0.784	0.355	0.124	1.608	2537.630	2537.590	2540.03	2539.69	2.40	2.10
402	403	0.227	50.002	0.400	0.662	0.150	0.029	2.587	2538.800	2538.600	2540.3	2540.3	1.50	1.70
403	404	0.284	50.006	0.200	0.561	0.159	0.029	1.493	2538.600	2538.500	2540.3	2540.3	1.70	1.80
404	405	0.284	89.997	0.156	0.848	0.241	0.044	1.315	2538.500	2538.360	2540.3	2539.86	1.80	1.50
405	406	0.284	78.003	0.192	0.760	0.216	0.044	1.620	2538.360	2538.210	2539.86	2539.81	1.50	1.60
406	398	0.284	25.869	0.387	0.774	0.220	0.064	3.267	2538.210	2538.110	2539.81	2539.81	1.60	1.70
407	408	0.227	80.000	0.888	0.506	0.115	0.029	4.980	2539.370	2538.660	2540.87	2540.16	1.50	1.50
408	409	0.284	80.003	0.388	0.638	0.181	0.050	3.086	2538.660	2538.350	2540.16	2539.85	1.50	1.50
409	401	0.284	50.000	0.240	0.767	0.218	0.050	2.025	2538.350	2538.230	2539.85	2540.03	1.50	1.80
410	411	0.227	69.997	0.214	0.740	0.168	0.025	1.435	2537.710	2537.560	2539.21	2539.56	1.50	2.00
411	412	0.227	69.997	0.257	0.688	0.156	0.025	1.687	2537.560	2537.380	2539.56	2539.58	2.00	2.20
412	292	0.227	70.007	0.300	0.651	0.148	0.025	1.926	2537.380	2537.170	2539.58	2539.87	2.20	2.70
413	352	0.227	85.244	0.223	0.644	0.146	0.021	1.425	2537.430	2537.240	2538.93	2538.84	1.50	1.60

Anexo 3 Diseño UTOPIA-No cumpliendo norma

CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m^3/s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
1	2	0.407	89.336	0.078	0.764	0.311	0.074	0.947	2537.800	2537.730	2539.52	2539.45	1.72	1.72
2	3	0.452	34.003	0.118	0.756	0.342	0.118	1.576	2537.730	2537.690	2539.45	2539.41	1.72	1.72
3	4	0.595	65.410	0.061	0.727	0.432	0.170	1.070	2537.690	2537.650	2539.41	2539.27	1.72	1.62
4	5	0.595	64.862	0.108	0.614	0.365	0.178	1.768	2537.650	2537.580	2539.27	2539.3	1.62	1.72
5	6	0.595	64.992	0.154	0.564	0.335	0.187	2.413	2537.580	2537.480	2539.30	2539.2	1.72	1.72
6	7	0.595	81.999	0.122	0.846	0.503	0.280	2.161	2537.080	2536.980	2539.20	2539.2	2.12	2.22
7	8	0.671	81.999	0.085	0.753	0.505	0.288	1.697	2536.980	2536.910	2539.20	2539.23	2.22	2.32
8	9	0.671	62.900	0.159	0.610	0.410	0.296	2.931	2536.910	2536.810	2539.23	2539.33	2.32	2.52
9	10	0.671	75.002	0.093	0.742	0.498	0.296	1.849	2536.810	2536.740	2539.33	2539.36	2.52	2.62
10	11	0.671	75.002	0.173	0.606	0.406	0.305	3.182	2536.740	2536.610	2539.36	2539.43	2.62	2.82
11	12	0.671	35.098	0.313	0.504	0.338	0.305	5.183	2536.610	2536.500	2539.43	2539.32	2.82	2.82
12	13	0.671	87.004	0.115	0.765	0.513	0.340	2.290	2536.500	2536.400	2539.32	2539.42	2.82	3.02
13	14	0.747	86.998	0.081	0.713	0.533	0.349	1.758	2536.400	2536.330	2539.42	2539.45	3.02	3.12
14	15	0.747	71.409	0.084	0.714	0.533	0.356	1.834	2536.330	2536.270	2539.45	2539.59	3.12	3.32
15	16	0.747	9.997	1.000	0.340	0.254	0.356	13.860	2536.270	2536.170	2539.59	2539.59	3.32	3.42
16	17	0.747	57.645	0.503	0.751	0.561	0.928	11.126	2535.370	2535.080	2539.59	2539.5	4.22	4.42
17	18	0.747	52.172	0.575	0.713	0.533	0.931	12.553	2535.080	2534.780	2539.50	2539.5	4.42	4.72
18	19	0.747	64.286	0.404	0.847	0.632	0.935	8.993	2534.780	2534.520	2539.50	2539.44	4.72	4.92
19	20	0.747	9.356	0.855	0.624	0.466	0.944	17.731	2534.520	2534.440	2539.44	2539.46	4.92	5.02
20	21	0.747	11.998	0.583	0.717	0.535	0.944	12.755	2534.440	2534.370	2539.46	2539.49	5.02	5.12
21	22	0.747	68.003	0.456	0.803	0.600	0.948	10.164	2534.370	2534.060	2539.49	2539.48	5.12	5.42
22	414	0.747	10.500	0.952	0.604	0.451	0.948	19.441	2534.060	2533.960	2539.48	2539.68	5.42	5.72
23	24	0.284	29.501	0.170	0.713	0.203	0.038	1.407	2538.050	2538.000	2539.17	2539.22	1.12	1.22



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
24	25	0.284	50.001	0.140	0.773	0.220	0.038	1.183	2538.000	2537.930	2539.22	2539.15	1.22	1.22
25	26	0.284	85.001	0.118	0.849	0.241	0.038	0.994	2537.930	2537.830	2539.15	2539.05	1.22	1.22
26	27	0.327	89.997	0.167	0.752	0.246	0.059	1.614	2537.830	2537.680	2539.05	2539.1	1.22	1.42
27	28	0.327	40.498	0.445	0.654	0.214	0.081	4.120	2537.680	2537.500	2539.10	2538.82	1.42	1.32
28	29	0.327	32.003	0.406	0.676	0.221	0.081	3.813	2537.500	2537.370	2538.82	2538.59	1.32	1.22
29	30	0.327	15.002	0.533	0.615	0.201	0.081	4.807	2537.370	2537.290	2538.59	2539.01	1.22	1.72
30	31	0.452	90.003	0.100	0.710	0.321	0.101	1.319	2537.290	2537.200	2539.01	2539.22	1.72	2.02
31	32	0.452	75.001	0.093	0.837	0.378	0.117	1.257	2537.200	2537.130	2539.22	2539.35	2.02	2.22
32	6	0.595	75.001	0.067	0.583	0.347	0.130	1.065	2537.130	2537.080	2539.35	2539.2	2.22	2.12
33	30	0.227	49.996	0.160	0.662	0.150	0.019	1.034	2537.970	2537.890	2539.09	2539.01	1.12	1.12
34	50	0.227	74.999	0.240	0.292	0.066	0.005	0.894	2538.150	2537.970	2539.27	2539.29	1.12	1.32
35	36	0.227	29.200	0.377	0.677	0.154	0.029	2.456	2538.040	2537.930	2539.16	2539.15	1.12	1.22
36	37	0.284	60.798	0.115	0.675	0.192	0.029	0.938	2537.930	2537.860	2539.15	2539.18	1.22	1.32
37	38	0.327	90.008	0.144	0.835	0.273	0.061	1.408	2537.860	2537.730	2539.18	2539.65	1.32	1.92
38	12	0.327	21.203	0.142	0.845	0.276	0.061	1.378	2537.730	2537.700	2539.65	2539.32	1.92	1.62
39	40	0.823	69.594	0.115	0.665	0.548	0.492	2.701	2536.320	2536.240	2539.04	2539.06	2.72	2.82
40	41	0.823	49.239	0.122	0.657	0.540	0.497	2.848	2536.240	2536.180	2539.06	2539	2.82	2.82
41	42	0.823	83.936	0.083	0.771	0.634	0.503	2.041	2536.180	2536.110	2539.00	2539.33	2.82	3.22
42	43	0.823	51.996	0.077	0.812	0.668	0.510	1.889	2536.110	2536.070	2539.33	2539.19	3.22	3.12
43	44	0.823	50.911	0.079	0.810	0.667	0.514	1.931	2536.070	2536.030	2539.19	2539.25	3.12	3.22
44	45	0.823	76.205	0.236	0.631	0.520	0.653	5.426	2536.030	2535.850	2539.25	2539.07	3.22	3.22
45	46	0.823	26.844	0.261	0.623	0.513	0.673	5.954	2535.850	2535.780	2539.07	2539.2	3.22	3.42
46	47	0.823	100.945	0.168	0.731	0.602	0.673	4.079	2535.780	2535.610	2539.20	2539.33	3.42	3.72



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
47	16	0.823	74.174	0.189	0.708	0.582	0.684	4.528	2535.610	2535.470	2539.33	2539.59	3.72	4.12
48	49	0.227	79.991	0.150	0.803	0.182	0.023	1.016	2537.400	2537.280	2538.52	2539.2	1.12	1.92
49	50	0.327	80.005	0.138	0.737	0.241	0.052	1.326	2537.280	2537.170	2539.2	2539.29	1.92	2.12
50	51	0.407	89.998	0.067	0.671	0.273	0.058	0.777	2537.170	2537.110	2539.29	2539.03	2.12	1.92
51	52	0.407	88.039	0.102	0.700	0.285	0.076	1.209	2537.110	2537.020	2539.03	2539.04	1.92	2.02
52	53	0.452	69.999	0.157	0.675	0.305	0.118	2.037	2537.020	2536.910	2539.04	2539.03	2.02	2.12
53	54	0.452	70.613	0.198	0.713	0.322	0.143	2.619	2536.910	2536.770	2539.03	2539.09	2.12	2.32
54	55	0.452	26.493	0.227	0.678	0.306	0.143	2.942	2536.770	2536.710	2539.09	2539.23	2.32	2.52
55	56	0.452	26.504	0.189	0.727	0.329	0.143	2.506	2536.710	2536.660	2539.23	2539.28	2.52	2.62
56	57	0.452	49.999	0.180	0.741	0.335	0.143	2.402	2536.660	2536.570	2539.28	2539.39	2.62	2.82
57	58	0.452	54.266	0.147	0.848	0.383	0.148	1.983	2536.570	2536.490	2539.39	2539.11	2.82	2.62
58	59	0.452	54.999	0.200	0.730	0.330	0.148	2.659	2536.490	2536.380	2539.11	2539	2.62	2.62
59	60	0.595	55.562	0.072	0.633	0.377	0.153	1.197	2536.380	2536.340	2539	2539.36	2.62	3.02
60	61	0.595	59.999	0.083	0.677	0.403	0.180	1.424	2536.340	2536.290	2539.36	2539.31	3.02	3.02
61	62	0.595	45.506	0.154	0.560	0.333	0.185	2.403	2536.290	2536.220	2539.31	2539.34	3.02	3.12
62	63	0.595	58.711	0.085	0.747	0.444	0.207	1.499	2536.220	2536.170	2539.34	2539.39	3.12	3.22
63	44	0.671	58.703	0.068	0.650	0.436	0.212	1.292	2536.170	2536.130	2539.39	2539.25	3.22	3.12
64	65	0.227	79.975	0.213	0.707	0.160	0.023	1.407	2537.550	2537.380	2538.67	2538.7	1.12	1.32
65	52	0.362	80.006	0.075	0.711	0.257	0.049	0.793	2537.380	2537.320	2538.7	2539.04	1.32	1.72
66	67	0.227	90.001	0.178	0.585	0.133	0.016	1.085	2537.440	2537.280	2538.56	2538.8	1.12	1.52
67	68	0.227	45.003	0.200	0.724	0.164	0.023	1.333	2537.280	2537.190	2538.8	2538.91	1.52	1.72
68	69	0.284	45.768	0.131	0.618	0.176	0.028	1.029	2537.190	2537.130	2538.91	2538.85	1.72	1.72
69	70	0.284	55.001	0.182	0.678	0.193	0.037	1.484	2537.130	2537.030	2538.85	2538.85	1.72	1.82



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
70	60	0.284	48.460	0.186	0.788	0.224	0.045	1.572	2537.030	2536.940	2538.85	2539.36	1.82	2.42
71	67	0.227	60.002	0.583	0.318	0.072	0.010	2.330	2538.030	2537.680	2539.15	2538.8	1.12	1.12
72	69	0.227	90.001	0.222	0.498	0.113	0.014	1.233	2537.930	2537.730	2539.05	2538.85	1.12	1.12
73	74	0.227	79.997	0.163	0.581	0.132	0.015	0.988	2538.610	2538.480	2539.73	2539.7	1.12	1.22
74	75	0.227	49.999	0.140	0.729	0.166	0.020	0.935	2537.680	2537.610	2539.7	2539.23	2.02	1.62
75	76	0.227	41.611	0.264	0.681	0.155	0.025	1.728	2537.610	2537.500	2539.23	2539.02	1.62	1.52
76	77	0.284	54.739	0.146	0.636	0.181	0.030	1.162	2537.500	2537.420	2539.02	2538.94	1.52	1.52
77	62	0.284	47.946	0.209	0.664	0.188	0.039	1.689	2537.420	2537.320	2538.94	2539.34	1.52	2.02
78	74	0.227	74.999	0.213	0.332	0.075	0.007	0.880	2537.840	2537.680	2538.96	2539.7	1.12	2.02
79	76	0.227	79.819	0.150	0.428	0.097	0.009	0.753	2537.920	2537.800	2539.04	2539.02	1.12	1.22
80	81	0.227	55.001	0.182	0.352	0.080	0.007	0.786	2538.520	2538.420	2539.64	2539.84	1.12	1.42
81	41	0.227	54.998	0.982	0.365	0.083	0.017	4.368	2538.420	2537.880	2539.84	2539	1.42	1.12
82	83	0.227	55.005	0.309	0.306	0.069	0.007	1.196	2537.930	2537.760	2539.05	2538.88	1.12	1.12
83	42	0.227	54.991	0.273	0.516	0.117	0.016	1.549	2537.760	2537.610	2538.88	2539.33	1.12	1.72
84	85	0.284	87.997	0.182	0.551	0.156	0.027	1.343	2537.850	2537.690	2538.97	2539.11	1.12	1.42
85	86	0.327	87.997	0.159	0.720	0.236	0.055	1.525	2537.690	2537.550	2539.11	2539.07	1.42	1.52
86	87	0.407	85.934	0.070	0.799	0.325	0.073	0.848	2537.550	2537.490	2539.07	2539.21	1.52	1.72
87	88	0.747	57.824	0.208	0.530	0.396	0.359	3.940	2537.190	2537.070	2539.21	2539.09	2.02	2.02
88	89	0.823	63.974	0.047	0.750	0.618	0.366	1.142	2537.070	2537.040	2539.09	2539.16	2.02	2.12
89	90	0.823	80.152	0.162	0.499	0.410	0.372	3.268	2537.040	2536.910	2539.16	2538.83	2.12	1.92
90	91	0.823	67.360	0.149	0.560	0.461	0.431	3.210	2536.910	2536.810	2538.83	2538.83	1.92	2.02
91	92	0.823	80.008	0.150	0.564	0.464	0.438	3.255	2536.810	2536.690	2538.83	2538.91	2.02	2.22
92	93	0.823	80.008	0.088	0.688	0.566	0.449	2.080	2536.690	2536.620	2538.91	2538.94	2.22	2.32



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Díámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
93	94	0.823	85.634	0.058	0.821	0.675	0.449	1.435	2536.620	2536.570	2538.94	2538.99	2.32	2.42
94	95	0.823	81.180	0.173	0.556	0.457	0.458	3.711	2536.570	2536.430	2538.99	2539.05	2.42	2.62
95	39	0.823	85.182	0.129	0.616	0.507	0.466	2.932	2536.430	2536.320	2539.05	2538.92	2.62	2.60
96	97	0.284	87.997	0.250	0.712	0.202	0.046	2.074	2537.800	2537.580	2538.92	2538.9	1.12	1.32
97	98	0.407	88.004	0.125	0.714	0.290	0.086	1.487	2537.580	2537.470	2538.9	2539.49	1.32	2.02
98	99	0.407	70.004	0.129	0.798	0.325	0.099	1.562	2537.470	2537.380	2539.49	2539.1	2.02	1.72
99	90	0.407	16.533	0.423	0.522	0.212	0.099	4.340	2537.380	2537.310	2539.1	2538.88	1.72	1.57
100	101	0.227	72.005	0.111	0.757	0.172	0.018	0.748	2537.760	2537.680	2538.88	2538.9	1.12	1.22
101	102	0.227	73.065	0.178	0.770	0.175	0.024	1.201	2537.680	2537.550	2538.9	2539.07	1.22	1.52
102	103	0.284	70.977	0.197	0.751	0.213	0.044	1.658	2537.550	2537.410	2539.07	2539.13	1.52	1.72
103	39	0.327	51.836	0.174	0.659	0.216	0.051	1.614	2537.410	2537.320	2539.13	2539.04	1.72	1.72
104	105	0.975	70.007	0.243	0.744	0.725	1.297	6.994	2534.430	2534.260	2539.55	2539.38	5.12	5.12
105	106	0.975	70.997	0.296	0.690	0.673	1.302	8.342	2534.260	2534.050	2539.38	2539.47	5.12	5.42
106	107	0.975	61.999	0.210	0.813	0.792	1.324	6.104	2534.050	2533.920	2539.47	2539.34	5.42	5.42
107	108	0.975	60.004	0.233	0.773	0.754	1.327	6.766	2533.920	2533.780	2539.34	2539.6	5.42	5.82
108	109	0.975	12.492	0.721	0.534	0.521	1.382	17.949	2533.780	2533.690	2539.6	2539.51	5.82	5.82
109	110	0.975	69.999	0.286	0.742	0.723	1.402	8.225	2533.690	2533.490	2539.51	2539.31	5.82	5.82
110	111	0.975	37.004	0.270	0.765	0.746	1.412	7.824	2533.490	2533.390	2539.31	2539.41	5.82	6.02
111	112	0.975	24.002	0.292	0.740	0.721	1.412	8.390	2533.390	2533.320	2539.41	2539.34	6.02	6.02
112	113	0.975	49.998	0.340	0.698	0.680	1.416	9.622	2533.320	2533.150	2539.34	2539.37	6.02	6.22
113	114	0.975	58.003	0.259	0.782	0.763	1.416	7.511	2533.150	2533.000	2539.37	2539.62	6.22	6.62
114	115	0.975	14.502	0.276	0.762	0.743	1.421	7.982	2533.000	2532.960	2539.62	2539.38	6.62	6.42
115	116	0.975	56.699	0.265	0.776	0.757	1.421	7.679	2532.960	2532.810	2539.38	2539.63	6.42	6.82



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
116	117	0.975	52.005	0.404	0.657	0.640	1.421	11.176	2532.810	2532.600	2539.63	2539.52	6.82	6.92
117	414	0.975	8.228	0.486	0.617	0.601	1.423	13.087	2532.600	2532.560	2539.52	2539.68	6.92	7.12
118	119	0.227	85.008	0.188	0.539	0.122	0.015	1.097	2537.930	2537.770	2539.05	2538.99	1.12	1.22
119	120	0.284	84.994	0.165	0.728	0.207	0.039	1.375	2537.770	2537.630	2538.99	2538.95	1.22	1.32
120	121	0.327	74.998	0.187	0.670	0.219	0.054	1.747	2537.630	2537.490	2538.95	2539.61	1.32	2.12
121	106	0.327	9.998	0.400	0.523	0.171	0.054	3.301	2537.490	2537.450	2539.61	2538.77	2.12	1.32
122	123	0.284	55.000	0.109	0.493	0.140	0.018	0.753	2537.650	2537.590	2538.77	2539.01	1.12	1.42
123	124	0.284	55.000	0.127	0.620	0.176	0.027	1.000	2537.590	2537.520	2539.01	2539.24	1.42	1.72
124	125	0.362	62.496	0.208	0.716	0.259	0.082	2.203	2537.520	2537.390	2539.24	2539.31	1.72	1.92
125	126	0.362	62.002	0.194	0.818	0.296	0.091	2.091	2537.390	2537.270	2539.31	2539.09	1.92	1.82
126	127	0.407	65.003	0.169	0.735	0.299	0.104	2.029	2537.170	2537.060	2539.09	2538.68	1.92	1.62
127	128	0.407	70.008	0.186	0.758	0.309	0.113	2.241	2537.060	2536.930	2538.68	2538.85	1.62	1.92
128	129	0.407	22.996	0.304	0.636	0.259	0.115	3.469	2536.930	2536.860	2538.85	2539.08	1.92	2.22
129	108	0.407	24.003	0.333	0.617	0.251	0.115	3.745	2536.860	2536.780	2539.08	2539.6	2.22	2.82
130	131	0.284	70.000	0.100	0.680	0.193	0.028	0.817	2538.280	2538.210	2539.4	2539.43	1.12	1.22
131	124	0.284	69.993	0.129	0.819	0.233	0.039	1.090	2538.210	2538.120	2539.43	2539.24	1.22	1.12
132	133	0.227	66.994	0.209	0.708	0.161	0.023	1.383	2538.220	2538.080	2539.34	2539.3	1.12	1.22
133	124	0.284	67.009	0.090	0.831	0.236	0.033	0.758	2538.080	2538.020	2539.3	2539.24	1.22	1.22
134	135	0.227	70.003	0.257	0.440	0.100	0.012	1.314	2537.480	2537.300	2538.6	2538.52	1.12	1.22
135	126	0.227	69.995	0.186	0.700	0.159	0.022	1.225	2537.300	2537.170	2538.52	2539.09	1.22	1.92
136	137	0.227	52.994	0.283	0.413	0.094	0.011	1.383	2537.810	2537.660	2538.93	2539.08	1.12	1.42
137	138	0.227	55.007	0.236	0.511	0.116	0.015	1.333	2537.660	2537.530	2539.08	2539.05	1.42	1.52
138	139	0.227	59.998	0.267	0.559	0.127	0.019	1.587	2537.530	2537.370	2539.05	2539.09	1.52	1.72



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
139	140	0.227	59.996	0.200	0.780	0.177	0.025	1.352	2537.370	2537.250	2539.09	2539.37	1.72	2.12
140	141	0.284	66.003	0.106	0.628	0.178	0.025	0.839	2537.250	2537.180	2539.37	2539.3	2.12	2.12
141	142	0.284	65.995	0.227	0.597	0.170	0.035	1.754	2537.180	2537.030	2539.3	2539.35	2.12	2.32
142	143	0.284	66.003	0.212	0.703	0.200	0.042	1.753	2537.030	2536.890	2539.35	2539.81	2.32	2.92
143	144	0.327	23.999	0.125	0.750	0.245	0.051	1.210	2536.890	2536.860	2539.81	2539.98	2.92	3.12
144	145	0.327	29.500	0.305	0.549	0.179	0.051	2.590	2536.860	2536.770	2539.98	2539.89	3.12	3.12
145	109	0.327	13.997	0.572	0.456	0.149	0.051	4.313	2536.770	2536.690	2539.89	2539.51	3.12	2.82
146	147	0.227	79.999	0.250	0.344	0.078	0.008	1.063	2538.380	2538.180	2539.5	2539.5	1.12	1.32
147	148	0.227	59.999	0.167	0.764	0.173	0.023	1.124	2538.180	2538.080	2539.5	2539.5	1.32	1.42
148	19	0.227	16.742	0.358	0.578	0.131	0.023	2.174	2538.080	2538.020	2539.5	2539.44	1.42	1.42
149	150	0.975	84.363	0.166	0.601	0.586	0.800	4.412	2536.150	2536.010	2538.87	2538.83	2.72	2.82
150	151	0.975	82.282	0.182	0.601	0.586	0.838	4.845	2536.010	2535.860	2538.83	2538.88	2.82	3.02
151	152	0.975	50.000	0.140	0.691	0.673	0.897	3.949	2535.860	2535.790	2538.88	2538.91	3.02	3.12
152	153	0.975	45.000	0.156	0.666	0.649	0.900	4.331	2535.790	2535.720	2538.91	2538.94	3.12	3.22
153	154	0.975	50.999	0.137	0.699	0.682	0.902	3.888	2535.720	2535.650	2538.94	2538.87	3.22	3.22
154	155	0.975	68.994	0.130	0.758	0.739	0.971	3.771	2535.650	2535.560	2538.87	2538.88	3.22	3.32
155	156	0.975	67.000	0.239	0.608	0.593	0.976	6.384	2535.560	2535.400	2538.88	2539.02	3.32	3.62
156	157	0.975	36.867	0.244	0.604	0.589	0.976	6.502	2535.400	2535.310	2539.02	2539.03	3.62	3.72
157	158	0.975	74.991	0.147	0.725	0.706	0.976	4.199	2535.310	2535.200	2539.03	2539.02	3.72	3.82
158	159	0.975	45.010	0.133	0.757	0.739	0.981	3.854	2535.200	2535.140	2539.02	2538.96	3.82	3.82
159	160	0.975	17.997	0.111	0.829	0.809	0.981	3.232	2535.140	2535.120	2538.96	2539.04	3.82	3.92
160	161	0.975	60.005	0.217	0.726	0.707	1.188	6.202	2535.120	2534.990	2539.04	2539.01	3.92	4.02
161	162	0.975	67.997	0.177	0.794	0.775	1.188	5.133	2534.990	2534.870	2539.01	2539.19	4.02	4.32



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Díámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
162	163	0.975	39.995	0.300	0.644	0.628	1.192	8.237	2534.870	2534.750	2539.19	2539.47	4.32	4.72
163	164	0.975	58.001	0.276	0.663	0.647	1.192	7.668	2534.750	2534.590	2539.47	2539.41	4.72	4.82
164	104	0.975	45.000	0.356	0.609	0.594	1.194	9.514	2534.590	2534.430	2539.41	2539.55	4.82	5.12
165	166	0.227	79.998	0.163	0.598	0.136	0.016	1.003	2537.770	2537.640	2538.89	2539.36	1.12	1.72
166	167	0.327	87.989	0.136	0.665	0.217	0.046	1.272	2537.440	2537.320	2539.36	2539.34	1.92	2.02
167	168	0.327	38.004	0.211	0.677	0.221	0.058	1.978	2537.320	2537.240	2539.34	2539.46	2.02	2.22
168	169	0.362	63.994	0.109	0.743	0.269	0.062	1.170	2537.240	2537.170	2539.46	2539.19	2.22	2.02
169	170	0.407	71.008	0.099	0.687	0.280	0.073	1.159	2537.170	2537.100	2539.19	2538.92	2.02	1.82
170	150	0.407	10.001	0.900	0.355	0.145	0.073	7.036	2537.100	2537.010	2538.92	2538.83	1.82	1.82
171	172	0.227	50.005	0.200	0.386	0.088	0.008	0.929	2538.430	2538.330	2539.55	2539.65	1.12	1.32
172	167	0.227	49.995	0.220	0.605	0.137	0.019	1.365	2538.330	2538.220	2539.65	2539.34	1.32	1.12
173	174	0.227	50.006	0.200	0.360	0.082	0.007	0.880	2537.850	2537.750	2538.97	2539.07	1.12	1.32
174	169	0.227	50.000	0.160	0.644	0.146	0.018	1.023	2537.750	2537.670	2539.07	2539.19	1.32	1.52
175	176	0.227	70.004	0.614	0.304	0.069	0.009	2.366	2538.010	2537.580	2539.13	2538.7	1.12	1.12
176	177	0.227	69.998	0.129	0.745	0.169	0.019	0.863	2537.580	2537.490	2538.7	2540.11	1.12	2.62
177	178	0.407	68.005	0.206	0.668	0.272	0.101	2.395	2537.490	2537.350	2540.11	2539.67	2.62	2.32
178	179	0.452	86.500	0.104	0.732	0.331	0.107	1.384	2537.350	2537.260	2539.67	2539.18	2.32	1.92
179	180	0.671	65.503	0.046	0.494	0.331	0.113	0.748	2537.260	2537.230	2539.18	2539.35	1.92	2.12
180	151	0.671	9.997	0.700	0.239	0.160	0.113	6.497	2537.230	2537.160	2539.35	2538.88	2.12	1.72
181	182	0.227	64.998	0.215	0.307	0.070	0.006	0.835	2538.380	2538.240	2539.5	2539.56	1.12	1.32
182	178	0.227	65.001	0.139	0.521	0.118	0.012	0.792	2538.240	2538.150	2539.56	2539.67	1.32	1.52
183	184	0.227	50.004	0.340	0.273	0.062	0.006	1.196	2538.020	2537.850	2539.14	2539.27	1.12	1.42
184	179	0.227	50.001	0.180	0.460	0.104	0.011	0.949	2537.850	2537.760	2539.27	2539.18	1.42	1.42



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
185	186	0.227	72.995	0.466	0.374	0.085	0.012	2.111	2539.180	2538.840	2540.3	2539.96	1.12	1.12
186	187	0.227	30.003	1.733	0.265	0.060	0.012	5.955	2538.840	2538.320	2539.96	2539.44	1.12	1.12
187	188	0.362	79.996	0.313	0.670	0.242	0.091	3.236	2538.320	2538.070	2539.44	2539.29	1.12	1.22
188	189	0.362	41.603	0.409	0.710	0.257	0.113	4.317	2538.070	2537.900	2539.29	2539.12	1.22	1.22
189	190	0.407	33.598	0.238	0.697	0.284	0.115	2.812	2537.900	2537.820	2539.12	2539.24	1.22	1.42
190	191	0.407	66.004	0.303	0.699	0.285	0.131	3.583	2537.820	2537.620	2539.24	2539.04	1.42	1.42
191	154	0.407	9.998	0.700	0.529	0.215	0.131	7.240	2537.620	2537.550	2539.04	2538.87	1.42	1.32
192	193	0.227	88.010	1.352	0.387	0.088	0.022	6.296	2540.020	2538.830	2541.14	2539.95	1.12	1.12
193	187	0.284	40.001	1.275	0.586	0.166	0.079	9.742	2538.830	2538.320	2539.95	2539.44	1.12	1.12
194	195	0.227	60.005	0.167	0.507	0.115	0.012	0.936	2538.590	2538.490	2539.71	2539.81	1.12	1.32
195	188	0.227	59.996	0.533	0.499	0.113	0.022	2.965	2538.490	2538.170	2539.81	2539.29	1.32	1.12
196	188	0.227	72.002	0.486	0.434	0.099	0.016	2.461	2538.520	2538.170	2539.64	2539.29	1.12	1.12
197	198	0.227	60.009	0.200	0.405	0.092	0.009	0.964	2538.080	2537.960	2539.2	2539.18	1.12	1.22
198	190	0.227	59.999	0.233	0.637	0.145	0.021	1.484	2537.960	2537.820	2539.18	2539.24	1.22	1.42
199	200	0.227	43.997	0.477	0.484	0.110	0.020	2.604	2540.870	2540.660	2541.99	2541.78	1.12	1.12
200	201	0.227	54.377	0.552	0.465	0.105	0.020	2.927	2540.660	2540.360	2541.78	2541.48	1.12	1.12
201	202	0.284	74.027	2.094	0.553	0.157	0.093	15.506	2540.160	2538.610	2541.48	2539.73	1.32	1.12
202	203	0.327	73.999	0.487	0.774	0.253	0.104	4.733	2538.610	2538.250	2539.73	2539.97	1.12	1.72
203	204	0.327	64.002	0.719	0.761	0.249	0.124	6.975	2538.250	2537.790	2539.97	2539.01	1.72	1.22
204	205	0.407	62.004	0.274	0.781	0.318	0.142	3.324	2537.790	2537.620	2539.01	2539.04	1.22	1.42
205	206	0.452	71.002	0.268	0.664	0.300	0.151	3.449	2537.620	2537.430	2539.04	2539.05	1.42	1.62
206	207	0.452	29.995	0.200	0.751	0.340	0.153	2.676	2537.430	2537.370	2539.05	2538.99	1.62	1.62
207	160	0.595	19.962	0.251	0.702	0.418	0.329	4.336	2537.370	2537.320	2538.99	2539.04	1.62	1.72



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Díámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
208	201	0.227	75.634	0.212	0.501	0.114	0.014	1.179	2540.520	2540.360	2541.64	2541.48	1.12	1.12
209	203	0.227	82.000	0.195	0.622	0.141	0.019	1.227	2538.510	2538.350	2539.63	2539.97	1.12	1.62
210	205	0.227	78.008	1.000	0.382	0.087	0.019	4.612	2538.700	2537.920	2539.82	2539.04	1.12	1.12
211	212	0.227	52.015	1.654	0.807	0.183	0.076	11.205	2545.380	2544.520	2546.5	2545.84	1.12	1.32
212	213	0.227	56.070	5.107	0.602	0.137	0.091	31.635	2544.520	2541.660	2545.84	2542.78	1.32	1.12
213	214	0.284	61.999	0.839	0.849	0.241	0.102	7.089	2540.360	2539.840	2542.78	2541.66	2.42	1.82
214	215	0.327	68.002	0.706	0.785	0.257	0.127	6.879	2539.840	2539.360	2541.66	2540.58	1.82	1.22
215	216	0.327	68.008	1.485	0.614	0.201	0.134	13.382	2539.360	2538.350	2540.58	2539.57	1.22	1.22
216	217	0.362	76.003	0.500	0.814	0.294	0.146	5.403	2538.350	2537.970	2539.57	2539.19	1.22	1.22
217	218	0.362	30.364	0.856	0.819	0.296	0.192	9.253	2537.870	2537.610	2539.19	2538.83	1.32	1.22
218	219	0.595	83.002	0.157	0.577	0.343	0.195	2.486	2537.610	2537.480	2538.83	2539.1	1.22	1.62
219	207	0.595	81.997	0.134	0.653	0.389	0.218	2.262	2537.480	2537.370	2539.1	2538.99	1.62	1.62
220	213	0.227	47.994	0.313	0.342	0.078	0.008	1.324	2540.510	2540.360	2541.63	2542.78	1.12	2.42
221	222	0.227	92.196	22.257	0.199	0.045	0.024	59.382	2558.120	2538.090	2559.24	2539.21	1.12	1.12
222	217	0.284	68.303	0.322	0.711	0.202	0.053	2.671	2538.090	2537.870	2539.21	2539.19	1.12	1.32
223	224	0.284	89.990	0.145	0.583	0.166	0.027	1.102	2537.790	2537.660	2538.91	2538.88	1.12	1.22
224	225	0.284	90.003	0.167	0.659	0.187	0.034	1.346	2537.660	2537.510	2538.88	2539.03	1.22	1.52
225	226	0.327	90.002	0.167	0.657	0.215	0.050	1.548	2537.510	2537.360	2539.03	2538.98	1.52	1.62
226	227	0.362	90.003	0.078	0.713	0.258	0.050	0.823	2537.360	2537.290	2538.98	2538.51	1.62	1.22
227	228	0.407	89.996	0.089	0.686	0.279	0.069	1.045	2537.290	2537.210	2538.51	2538.73	1.22	1.52
228	229	0.407	78.006	0.167	0.816	0.332	0.115	2.025	2537.210	2537.080	2538.73	2538.6	1.52	1.52
229	230	0.452	73.993	0.149	0.715	0.323	0.125	1.966	2537.080	2536.970	2538.6	2539.29	1.52	2.32
230	231	0.452	54.715	0.201	0.721	0.326	0.146	2.663	2536.970	2536.860	2539.29	2539.58	2.32	2.72



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
231	104	0.595	28.002	0.107	0.542	0.323	0.146	1.642	2536.860	2536.830	2539.58	2539.55	2.72	2.72
232	233	0.227	88.007	0.409	0.766	0.174	0.036	2.759	2538.020	2537.660	2539.14	2538.88	1.12	1.22
233	228	0.327	88.002	0.171	0.774	0.253	0.062	1.659	2537.660	2537.510	2538.88	2538.73	1.22	1.22
234	235	0.227	65.003	0.215	0.637	0.145	0.020	1.371	2538.560	2538.420	2539.68	2539.68	1.12	1.26
235	236	0.284	64.999	0.108	0.681	0.193	0.029	0.880	2538.420	2538.350	2539.64	2539.64	1.22	1.29
236	237	0.327	73.497	0.177	0.669	0.219	0.052	1.654	2538.350	2538.220	2539.57	2539.57	1.22	1.35
237	238	0.327	60.004	0.217	0.726	0.237	0.065	2.081	2538.220	2538.090	2539.44	2539.44	1.22	1.35
238	104	0.327	10.003	0.600	0.516	0.169	0.065	4.906	2538.090	2538.030	2539.51	2539.55	1.42	1.52
239	240	0.227	59.994	0.233	0.583	0.132	0.019	1.421	2538.770	2538.630	2539.89	2539.75	1.12	1.12
240	236	0.227	60.007	0.300	0.767	0.174	0.031	2.023	2538.630	2538.450	2539.75	2539.79	1.12	1.34
241	242	0.284	74.995	0.093	0.748	0.212	0.030	0.784	2538.670	2538.600	2539.79	2540.02	1.12	1.42
242	243	0.327	75.009	0.213	0.623	0.204	0.052	1.935	2538.600	2538.440	2540.02	2540.26	1.42	1.82
243	271	0.327	75.281	0.199	0.638	0.209	0.052	1.827	2538.440	2538.290	2540.26	2539.54	1.82	1.25
244	245	0.227	90.001	0.156	0.732	0.166	0.021	1.040	2538.420	2538.280	2539.54	2539.6	1.12	1.32
245	246	0.284	90.006	0.156	0.659	0.187	0.033	1.255	2538.280	2538.140	2539.6	2539.86	1.32	1.72
246	247	0.284	66.300	0.226	0.581	0.165	0.033	1.721	2538.140	2537.990	2539.86	2539.61	1.72	1.62
247	248	0.327	68.000	0.118	0.688	0.225	0.044	1.111	2537.990	2537.910	2539.61	2539.53	1.62	1.62
248	1	0.327	59.498	0.185	0.704	0.230	0.057	1.760	2537.910	2537.800	2539.53	2539.52	1.62	1.72
249	250	0.227	75.002	0.267	0.443	0.101	0.012	1.369	2538.910	2538.710	2540.03	2539.83	1.12	1.12
250	251	0.284	74.995	0.107	0.664	0.189	0.028	0.864	2538.710	2538.630	2539.83	2539.85	1.12	1.22
251	252	0.284	75.010	0.240	0.771	0.219	0.050	2.027	2538.630	2538.450	2539.85	2539.87	1.22	1.42
252	253	0.284	74.995	0.227	0.792	0.225	0.050	1.920	2538.450	2538.280	2539.87	2539.9	1.42	1.62
253	2	0.362	60.117	0.083	0.824	0.298	0.060	0.899	2538.280	2538.230	2539.9	2539.45	1.62	1.22



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
254	255	0.284	74.997	0.253	0.572	0.162	0.034	1.910	2538.920	2538.730	2540.04	2539.85	1.12	1.12
255	256	0.284	75.003	0.107	0.786	0.223	0.034	0.903	2538.730	2538.650	2539.85	2539.87	1.12	1.22
256	257	0.284	75.002	0.253	0.758	0.215	0.050	2.133	2538.650	2538.460	2539.87	2539.88	1.22	1.42
257	258	0.327	74.995	0.173	0.799	0.261	0.064	1.691	2538.460	2538.330	2539.88	2539.95	1.42	1.62
258	3	0.327	60.245	0.232	0.779	0.255	0.073	2.263	2538.330	2538.190	2539.95	2539.41	1.62	1.22
259	260	0.227	54.964	0.200	0.586	0.133	0.017	1.223	2539.290	2539.180	2540.41	2541	1.12	1.82
260	261	0.227	70.069	0.228	0.562	0.128	0.017	1.364	2539.180	2539.020	2541	2540.44	1.82	1.42
261	262	0.284	69.907	0.129	0.767	0.218	0.036	1.086	2539.020	2538.930	2540.44	2540.05	1.42	1.12
262	263	0.284	6.202	1.613	0.351	0.100	0.036	8.711	2538.930	2538.830	2540.05	2540.05	1.12	1.22
263	264	0.407	62.008	0.129	0.807	0.328	0.100	1.567	2538.630	2538.550	2540.05	2539.97	1.42	1.42
264	265	0.407	61.994	0.177	0.747	0.304	0.108	2.135	2538.550	2538.440	2539.97	2540.06	1.42	1.62
265	266	0.407	61.994	0.307	0.641	0.261	0.116	3.506	2538.440	2538.250	2540.06	2539.97	1.62	1.72
266	267	0.407	80.073	0.212	0.803	0.327	0.128	2.579	2538.250	2538.080	2539.97	2540.2	1.72	2.12
267	268	0.595	33.348	0.300	0.527	0.314	0.234	4.523	2537.580	2537.480	2540.2	2540.2	2.62	2.72
268	269	0.671	46.694	0.086	0.802	0.538	0.309	1.716	2537.380	2537.340	2540.2	2539.36	2.82	2.02
269	270	0.747	81.997	0.049	0.799	0.597	0.309	1.088	2537.340	2537.300	2539.36	2539.02	2.02	1.72
270	87	0.747	90.176	0.122	0.577	0.431	0.316	2.433	2537.300	2537.190	2539.02	2539.21	1.72	2.02
271	272	0.327	59.585	0.168	0.678	0.222	0.052	1.577	2538.290	2538.190	2540.61	2540.01	2.32	1.82
272	273	0.327	64.001	0.188	0.651	0.213	0.052	1.735	2538.190	2538.070	2540.01	2539.99	1.82	1.92
273	274	0.362	62.006	0.145	0.684	0.248	0.064	1.515	2538.070	2537.980	2539.99	2539.3	1.92	1.32
274	275	0.362	69.000	0.145	0.685	0.248	0.064	1.513	2537.980	2537.880	2539.3	2539.1	1.32	1.22
275	276	0.362	69.533	0.230	0.636	0.230	0.073	2.332	2537.880	2537.720	2539.1	2538.94	1.22	1.22
276	277	0.407	69.548	0.101	0.753	0.307	0.082	1.214	2537.720	2537.650	2538.94	2539.37	1.22	1.72



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
277	267	0.452	79.587	0.088	0.727	0.328	0.098	1.169	2537.650	2537.580	2539.37	2540.2	1.72	2.62
278	279	0.227	61.995	0.307	0.385	0.087	0.010	1.422	2538.200	2538.010	2539.32	2539.13	1.12	1.12
279	280	0.227	62.001	0.242	0.650	0.147	0.022	1.552	2538.010	2537.860	2539.13	2539.28	1.12	1.42
280	281	0.284	85.507	0.187	0.561	0.159	0.028	1.397	2537.860	2537.700	2539.28	2539.42	1.42	1.72
281	282	0.284	84.001	0.119	0.762	0.217	0.035	1.003	2537.700	2537.600	2539.42	2539.92	1.72	2.32
282	283	0.362	66.699	0.105	0.811	0.293	0.067	1.134	2537.600	2537.530	2539.92	2539.65	2.32	2.12
283	268	0.362	89.592	0.167	0.667	0.241	0.067	1.731	2537.530	2537.380	2539.65	2540.2	2.12	2.82
284	285	0.227	75.004	0.413	0.538	0.122	0.022	2.407	2539.050	2538.740	2540.17	2539.86	1.12	1.12
285	282	0.227	75.002	0.187	0.703	0.159	0.022	1.233	2538.740	2538.600	2539.86	2539.92	1.12	1.32
286	287	0.284	64.997	0.754	0.821	0.233	0.094	6.391	2538.710	2538.220	2539.83	2539.34	1.12	1.12
287	288	0.362	70.395	0.313	0.723	0.262	0.101	3.319	2538.220	2538.000	2539.34	2539.32	1.12	1.32
288	289	0.407	81.994	0.122	0.840	0.342	0.101	1.480	2538.000	2537.900	2539.32	2539.42	1.32	1.52
289	290	0.452	80.001	0.125	0.681	0.308	0.107	1.626	2537.900	2537.800	2539.42	2539.52	1.52	1.72
290	291	0.452	80.001	0.125	0.776	0.351	0.126	1.681	2537.800	2537.700	2539.52	2539.62	1.72	1.92
291	292	0.452	16.700	0.299	0.744	0.336	0.185	3.999	2537.700	2537.650	2539.62	2539.87	1.92	2.22
292	293	0.595	51.003	0.137	0.625	0.372	0.207	2.268	2537.650	2537.580	2539.87	2539.9	2.22	2.32
293	294	0.595	32.996	0.152	0.605	0.360	0.207	2.465	2537.580	2537.530	2539.9	2539.95	2.32	2.42
294	295	0.595	90.003	0.078	0.828	0.492	0.220	1.381	2537.530	2537.460	2539.95	2539.88	2.42	2.42
295	296	0.595	89.998	0.111	0.723	0.430	0.227	1.940	2537.460	2537.360	2539.88	2539.88	2.42	2.52
296	297	0.671	89.998	0.067	0.773	0.518	0.262	1.331	2537.360	2537.300	2539.88	2539.82	2.52	2.52
297	298	0.671	89.998	0.067	0.797	0.535	0.271	1.335	2537.300	2537.240	2539.82	2539.96	2.52	2.72
298	299	0.671	90.007	0.078	0.766	0.514	0.280	1.551	2537.240	2537.170	2539.96	2539.69	2.72	2.52
299	300	0.671	88.005	0.114	0.820	0.550	0.363	2.275	2537.170	2537.070	2539.69	2539.19	2.52	2.12



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
300	301	0.823	71.997	0.042	0.803	0.661	0.371	1.024	2537.070	2537.040	2539.19	2539.06	2.12	2.02
301	302	0.823	72.004	0.083	0.621	0.511	0.379	1.899	2537.040	2536.980	2539.06	2539	2.02	2.02
302	303	0.823	71.994	0.139	0.577	0.475	0.437	3.050	2536.980	2536.880	2539	2538.9	2.02	2.02
303	304	0.823	75.003	0.133	0.592	0.487	0.445	2.967	2536.880	2536.780	2538.9	2538.8	2.02	2.02
304	305	0.823	36.574	0.273	0.476	0.392	0.445	5.342	2536.780	2536.680	2538.8	2538.8	2.02	2.12
305	306	0.823	50.004	0.220	0.507	0.417	0.445	4.479	2536.680	2536.570	2538.8	2538.89	2.12	2.32
306	307	0.823	17.098	0.176	0.549	0.452	0.453	3.748	2536.570	2536.540	2538.89	2538.86	2.32	2.32
307	308	0.823	32.906	0.122	0.656	0.540	0.496	2.841	2536.540	2536.500	2538.86	2538.92	2.32	2.42
308	309	0.823	34.993	0.143	0.621	0.511	0.496	3.257	2536.500	2536.450	2538.92	2538.87	2.42	2.42
309	310	0.823	62.006	0.177	0.579	0.476	0.496	3.902	2536.450	2536.340	2538.87	2538.86	2.42	2.52
310	311	0.823	60.065	0.100	0.713	0.587	0.502	2.403	2536.340	2536.280	2538.86	2538.9	2.52	2.62
311	312	0.823	34.328	0.117	0.673	0.554	0.502	2.748	2536.280	2536.240	2538.9	2538.86	2.62	2.62
312	149	0.823	35.247	0.255	0.708	0.583	0.796	6.128	2536.240	2536.150	2538.86	2538.87	2.62	2.72
313	314	0.227	50.002	0.500	0.757	0.172	0.039	3.365	2538.630	2538.380	2539.75	2539.5	1.12	1.12
314	315	0.284	90.002	0.233	0.794	0.225	0.051	1.976	2538.380	2538.170	2539.5	2539.49	1.12	1.32
315	316	0.284	79.997	0.513	0.821	0.233	0.078	4.344	2538.170	2537.760	2539.49	2539.28	1.32	1.52
316	307	0.327	25.936	0.463	0.631	0.206	0.078	4.221	2537.760	2537.640	2539.28	2538.86	1.52	1.22
317	318	0.284	40.007	0.250	0.547	0.155	0.032	1.839	2537.730	2537.630	2538.85	2538.85	1.12	1.22
318	319	0.327	84.814	0.106	0.701	0.229	0.043	1.009	2537.630	2537.540	2538.85	2539.16	1.22	1.62
319	320	0.362	90.000	0.078	0.752	0.272	0.053	0.834	2537.540	2537.470	2539.16	2539.59	1.62	2.12
320	321	0.595	90.000	0.056	0.459	0.273	0.079	0.767	2537.470	2537.420	2539.59	2539.94	2.12	2.52
321	302	0.595	90.000	0.156	0.385	0.229	0.097	1.891	2537.420	2537.280	2539.94	2539	2.52	1.72
322	323	0.227	60.002	0.350	0.810	0.184	0.035	2.372	2538.940	2538.730	2540.06	2539.95	1.12	1.22



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
323	324	0.284	60.002	0.400	0.706	0.200	0.058	3.310	2538.730	2538.490	2539.95	2539.61	1.22	1.12
324	296	0.327	17.006	0.176	0.725	0.237	0.058	1.694	2538.490	2538.460	2539.61	2539.88	1.12	1.42
325	326	0.284	52.827	0.379	0.746	0.212	0.061	3.178	2539.180	2538.980	2540.3	2540.3	1.12	1.32
326	327	0.284	76.620	0.653	0.781	0.222	0.084	5.520	2538.980	2538.480	2540.3	2540.3	1.32	1.82
327	291	0.362	35.637	0.225	0.709	0.257	0.084	2.371	2538.480	2538.400	2540.3	2539.62	1.82	1.22
328	329	0.227	40.098	6.774	0.231	0.052	0.018	20.662	2550.400	2547.690	2551.52	2548.81	1.12	1.12
329	330	0.227	35.035	4.744	0.253	0.057	0.018	15.633	2547.690	2546.030	2548.81	2547.15	1.12	1.12
330	331	0.227	29.996	0.333	0.516	0.117	0.018	1.894	2546.030	2545.930	2547.15	2547.15	1.12	1.22
331	332	0.227	60.005	0.133	0.698	0.159	0.018	0.879	2545.930	2545.850	2547.15	2548.57	1.22	2.72
332	333	0.362	85.999	0.151	0.746	0.270	0.073	1.618	2545.850	2545.720	2548.57	2553.04	2.72	7.32
333	334	0.362	86.006	0.163	0.724	0.262	0.073	1.729	2545.720	2545.580	2553.04	2555.1	7.32	9.52
334	335	0.362	85.994	0.279	0.672	0.243	0.087	2.894	2545.580	2545.340	2555.1	2555.96	9.52	10.62
335	336	0.407	50.004	0.180	0.831	0.338	0.122	2.185	2545.340	2545.250	2555.96	2553.57	10.62	8.32
336	337	0.407	50.001	0.300	0.690	0.281	0.128	3.532	2545.250	2545.100	2553.57	2550.02	8.32	4.92
337	338	0.407	49.993	0.220	0.786	0.320	0.128	2.669	2545.100	2544.990	2550.02	2548.11	4.92	3.12
338	339	0.407	40.033	0.500	0.715	0.291	0.173	5.948	2544.990	2544.790	2548.11	2548.11	3.12	3.32
339	340	0.407	40.002	0.475	0.730	0.297	0.173	5.687	2544.790	2544.600	2548.11	2549.52	3.32	4.92
340	341	0.407	80.004	0.463	0.738	0.300	0.173	5.552	2544.600	2544.230	2549.52	2552.35	4.92	8.12
341	342	0.407	85.002	0.424	0.776	0.316	0.175	5.130	2544.230	2543.870	2552.35	2547.39	8.12	3.52
342	343	0.407	85.029	0.565	0.690	0.281	0.175	6.643	2543.870	2543.390	2547.39	2544.71	3.52	1.32
343	344	0.407	64.499	0.465	0.798	0.325	0.189	5.648	2543.390	2543.090	2544.71	2547.81	1.32	4.72
344	345	0.407	70.004	0.529	0.752	0.306	0.189	6.370	2543.090	2542.720	2547.81	2551.14	4.72	8.42
345	346	0.407	67.856	0.442	0.820	0.334	0.189	5.371	2542.720	2542.420	2551.14	2552.04	8.42	9.62



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
346	347	0.407	86.000	0.512	0.816	0.332	0.202	6.216	2542.420	2541.980	2552.04	2547.8	9.62	5.82
347	348	0.407	28.311	0.812	0.671	0.273	0.202	9.466	2541.980	2541.750	2547.8	2546.07	5.82	4.32
348	349	0.407	48.418	0.702	0.726	0.296	0.208	8.395	2541.750	2541.410	2546.07	2542.93	4.32	1.52
349	350	0.407	50.434	4.207	0.428	0.174	0.221	37.771	2541.410	2539.290	2542.93	2540.61	1.52	1.32
350	351	0.407	27.614	1.666	0.569	0.232	0.226	17.958	2539.290	2538.830	2540.61	2540.15	1.32	1.32
351	352	0.407	72.014	1.819	0.553	0.225	0.226	19.311	2538.830	2537.520	2540.15	2538.84	1.32	1.32
352	353	0.747	59.995	0.083	0.743	0.555	0.373	1.838	2537.420	2537.370	2538.84	2539.09	1.42	1.72
353	354	0.747	82.007	0.146	0.615	0.459	0.382	3.012	2537.370	2537.250	2539.09	2538.97	1.72	1.72
354	355	0.747	81.996	0.110	0.691	0.516	0.390	2.373	2537.250	2537.160	2538.97	2538.98	1.72	1.82
355	312	0.747	87.003	0.138	0.646	0.482	0.399	2.904	2537.160	2537.040	2538.98	2538.86	1.82	1.82
356	357	0.227	85.003	0.824	0.797	0.181	0.053	5.577	2538.640	2537.940	2539.76	2539.06	1.12	1.12
357	358	0.327	62.004	0.226	0.773	0.253	0.071	2.196	2537.740	2537.600	2539.06	2538.92	1.32	1.32
358	359	0.362	63.999	0.172	0.749	0.271	0.078	1.841	2537.600	2537.490	2538.92	2538.91	1.32	1.42
359	352	0.362	23.298	0.301	0.610	0.221	0.078	2.986	2537.490	2537.420	2538.91	2538.84	1.42	1.42
360	361	0.227	65.029	0.292	0.573	0.130	0.020	1.764	2538.070	2537.880	2539.19	2539	1.12	1.12
361	357	0.284	79.999	0.175	0.549	0.156	0.027	1.291	2537.880	2537.740	2539	2539.76	1.12	2.02
362	363	0.227	75.113	5.560	0.142	0.032	0.006	10.932	2543.970	2539.800	2545.09	2540.92	1.12	1.12
363	364	0.227	75.021	2.133	0.349	0.079	0.023	9.179	2539.800	2538.200	2540.92	2539.32	1.12	1.12
364	365	0.227	30.005	1.900	0.360	0.082	0.023	8.374	2538.200	2537.630	2539.32	2538.75	1.12	1.12
365	366	0.284	67.828	0.147	0.699	0.198	0.035	1.216	2537.630	2537.530	2538.75	2538.75	1.12	1.22
366	367	0.284	22.171	0.180	0.649	0.184	0.035	1.447	2537.530	2537.490	2538.75	2539.41	1.22	1.92
367	166	0.284	20.008	0.250	0.582	0.165	0.035	1.903	2537.490	2537.440	2539.41	2539.36	1.92	1.92
368	369	0.452	67.127	0.060	0.753	0.340	0.084	0.798	2537.850	2537.810	2539.47	2540.13	1.62	2.32



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Diámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
369	177	0.452	18.993	0.105	0.639	0.289	0.090	1.336	2537.810	2537.790	2540.13	2540.11	2.32	2.32
370	368	0.227	70.037	0.243	0.499	0.113	0.015	1.350	2538.020	2537.850	2539.14	2540.38	1.12	2.53
371	193	0.227	24.003	1.792	0.567	0.129	0.049	10.754	2539.260	2538.830	2540.38	2539.95	1.12	1.12
372	373	0.227	80.006	0.388	0.585	0.133	0.024	2.364	2539.230	2538.920	2540.35	2540.04	1.12	1.12
373	193	0.227	21.995	0.409	0.575	0.130	0.024	2.473	2538.920	2538.830	2540.04	2539.95	1.12	1.12
374	375	0.227	88.004	1.216	0.402	0.091	0.022	5.819	2541.330	2540.260	2542.45	2541.38	1.12	1.12
375	371	0.227	88.010	1.136	0.537	0.122	0.036	6.608	2540.260	2539.260	2541.38	2540.38	1.12	1.12
376	377	0.227	70.173	7.014	0.234	0.053	0.019	21.651	2549.800	2544.890	2550.92	2546.01	1.12	1.12
377	378	0.227	65.114	6.000	0.336	0.076	0.036	25.057	2544.890	2540.990	2546.01	2542.11	1.12	1.12
378	201	0.284	18.996	0.684	0.689	0.196	0.074	5.618	2540.290	2540.160	2542.11	2541.48	1.82	1.32
379	380	0.227	82.007	0.537	0.562	0.128	0.027	3.204	2540.970	2540.530	2542.09	2541.65	1.12	1.12
380	378	0.227	39.993	0.350	0.647	0.147	0.027	2.242	2540.530	2540.390	2541.65	2542.11	1.12	1.72
381	378	0.227	84.006	0.310	0.691	0.157	0.027	2.033	2540.550	2540.290	2541.67	2542.11	1.12	1.82
382	383	0.227	46.001	0.283	0.454	0.103	0.013	1.475	2540.530	2540.400	2541.65	2542.92	1.12	2.52
383	213	0.227	19.003	0.211	0.494	0.112	0.013	1.163	2540.400	2540.360	2542.92	2542.78	2.52	2.42
384	385	0.284	55.001	0.127	0.543	0.154	0.022	0.932	2539.280	2539.210	2540.4	2540.43	1.12	1.22
385	386	0.327	55.000	0.091	0.636	0.208	0.035	0.832	2539.210	2539.160	2540.43	2540.38	1.22	1.22
386	387	0.327	77.003	0.208	0.491	0.161	0.035	1.647	2539.160	2539.000	2540.38	2540.42	1.22	1.42
387	388	0.327	69.997	0.171	0.691	0.226	0.054	1.622	2539.000	2538.880	2540.42	2540.4	1.42	1.52
388	389	0.362	70.000	0.171	0.674	0.244	0.068	1.779	2538.880	2538.760	2540.4	2540.28	1.52	1.52
389	263	0.362	73.627	0.177	0.721	0.261	0.076	1.874	2538.760	2538.630	2540.28	2540.05	1.52	1.42
390	391	0.227	79.998	0.163	0.693	0.157	0.020	1.068	2538.660	2538.530	2539.78	2539.75	1.12	1.22
391	392	0.284	80.003	0.188	0.766	0.218	0.044	1.582	2538.530	2538.380	2539.75	2539.6	1.22	1.22



CIUDAD VERDE- DISEÑO CON UTOPIA (No norma)														
Tubería Inicial	Tubería Final	Díámetro (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Relación de llenado (-)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)	Esfuerzo cortante (Pa)	Cota Clave		Cota del terreno		Profundidad de excavación (Hasta cota clave de la tubería)	
									Sup	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf
392	267	0.327	79.997	0.125	0.817	0.267	0.056	1.220	2538.380	2538.280	2539.6	2540.2	1.22	1.92
393	394	0.227	80.002	0.125	0.721	0.164	0.018	0.832	2538.720	2538.620	2539.84	2539.84	1.12	1.22
394	395	0.284	79.994	0.200	0.625	0.177	0.035	1.577	2538.620	2538.460	2539.84	2539.58	1.22	1.12
395	268	0.362	80.001	0.100	0.748	0.271	0.060	1.071	2538.460	2538.380	2539.58	2540.2	1.12	1.82
396	397	0.227	67.998	0.603	0.598	0.136	0.031	3.723	2539.170	2538.760	2540.29	2539.88	1.12	1.12
397	398	0.284	69.996	0.243	0.730	0.207	0.047	2.029	2538.760	2538.590	2539.88	2539.81	1.12	1.22
398	399	0.407	51.124	0.098	0.748	0.305	0.081	1.177	2538.490	2538.440	2539.81	2539.76	1.32	1.32
399	400	0.407	77.001	0.091	0.773	0.315	0.081	1.101	2538.440	2538.370	2539.76	2539.99	1.32	1.62
400	401	0.362	77.002	0.208	0.777	0.281	0.090	2.239	2538.270	2538.110	2539.99	2540.03	1.72	1.92
401	299	0.362	33.492	0.418	0.760	0.275	0.124	4.489	2538.110	2537.970	2540.03	2539.69	1.92	1.72
402	403	0.227	50.002	0.400	0.662	0.150	0.029	2.587	2539.180	2538.980	2540.3	2540.3	1.12	1.32
403	404	0.284	50.006	0.200	0.561	0.159	0.029	1.493	2538.980	2538.880	2540.3	2540.3	1.32	1.42
404	405	0.284	89.997	0.156	0.848	0.241	0.044	1.315	2538.880	2538.740	2540.3	2539.86	1.42	1.12
405	406	0.284	78.003	0.192	0.760	0.216	0.044	1.620	2538.740	2538.590	2539.86	2539.81	1.12	1.22
406	398	0.284	25.869	0.387	0.774	0.220	0.064	3.267	2538.590	2538.490	2539.81	2539.81	1.22	1.32
407	408	0.227	80.000	0.888	0.506	0.115	0.029	4.980	2539.750	2539.040	2540.87	2540.16	1.12	1.12
408	409	0.284	80.003	0.388	0.638	0.181	0.050	3.086	2539.040	2538.730	2540.16	2539.85	1.12	1.12
409	401	0.284	50.000	0.240	0.767	0.218	0.050	2.025	2538.730	2538.610	2539.85	2540.03	1.12	1.42
410	411	0.227	69.997	0.214	0.740	0.168	0.025	1.435	2538.090	2537.940	2539.21	2539.56	1.12	1.62
411	412	0.284	69.997	0.114	0.602	0.171	0.025	0.886	2537.940	2537.860	2539.56	2539.58	1.62	1.72
412	292	0.284	70.007	0.157	0.545	0.155	0.025	1.153	2537.860	2537.750	2539.58	2539.87	1.72	2.12
413	352	0.284	85.244	0.106	0.556	0.158	0.021	0.785	2537.810	2537.720	2538.93	2538.84	1.12	1.12