



**Programa  
de Agua y  
Saneamiento**

Una alianza internacional  
para ayudar a la población  
más pobre a obtener  
acceso sostenido a servicios  
de agua y saneamiento

# Sistemas condominiales de alcantarillado sanitario

## MANUAL DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

PROYECTO PILOTO EL ALTO - BOLIVIA



Viceministerio de  
Servicios Básicos



Agencia Suiza  
de Cooperación Internacional  
para el Desarrollo

El Programa de Agua y Saneamiento (PAS) es una alianza internacional de las principales agencias de desarrollo a nivel mundial cuya preocupación se orienta a brindar servicios de agua y saneamiento a las poblaciones más pobres. Su misión es aliviar la pobreza ayudando a las personas de escasos recursos a tener acceso sostenido a mejores servicios de agua y saneamiento. El PAS es dirigido a través de su oficina principal en Washington D. C. y cuatro oficinas regionales en Asia Meridional, Asia Oriental y el Pacífico, África y la Región Andina.

Esta publicación del PAS-AND ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo (ASDI) y al apoyo institucional del Vice Ministerio de Servicios Básicos de Bolivia.

El contenido del documento fue preparado por Adela Martínez, integrante del equipo que tuvo a su cargo la implementación del Proyecto Piloto El Alto, y Klaus Neder, de CAESB Brasil. La revisión final del documento fue realizada por Alcides Franco. Los comentarios y aportes fueron brindados por Carmen Arévalo, Directora Regional del PAS-AND, Joseph Narkevic, Coordinador del PAS en Bolivia y Louise Herrmann, Oficial del Programa del PAS.

Depósito legal: 1501132001-4614

Diseño: Fabiola Pérez Albela Pighi

Fotografías: PAS - Región Andina

Edición: Santillana S.A.

Impresión: Biblos S.A.

Diciembre 2001

PROYECTO PILOTO EL ALTO - BOLIVIA



**Programa  
de Agua y  
Saneamiento**

# **Sistemas condominiales de alcantarillado sanitario**

**MANUAL DE DISEÑO  
Y CONSTRUCCIÓN**



## Presentación

---

Uno de los grandes retos que afronta el sector de agua y saneamiento a nivel global es, sin lugar a dudas, desarrollar alternativas tecnológicas y de gestión, que permitan mejorar el acceso de la población de menores ingresos a servicios de agua y saneamiento de calidad y sostenibles a largo plazo, en especial en áreas periféricas urbanas. Este reto es particularmente provocador para América Latina, con más de un tercio de su población viviendo en la pobreza, y donde el acelerado proceso migratorio del campo a la ciudad, de los últimos veinte años, ha resultado en que alrededor de un 75% de sus habitantes se concentre en áreas urbanas, con el agravante que la gran mayoría de estos nuevos migrantes son pobres y se asientan en áreas periféricas, carentes de todos los servicios básicos y en deplorables condiciones ambientales y de salud pública. Solucionar estas carencias de manera sostenible, con las tecnologías convencionales de que dispone el sector, resulta inviable en el corto y aún en el mediano plazo en razón de los altos costos que estas soluciones conllevan.

En Bolivia, en 1998 se conjugaron una serie de circunstancias que permitieron poner a prueba una solución alternativa para la instalación de redes de acueducto y alcantarillado sanitario, ampliamente utilizada en Brasil por más de veinte años, el *sistema condominial*. En primera instancia, el contrato de concesión de los servicios

de agua y alcantarillado de las ciudades de La Paz y El Alto, otorgado a la empresa Aguas del Illimani, S.A. en 1997, establecía metas de cobertura específicas para la ciudad de El Alto –localizada en la periferia de La Paz y con altos niveles de pobreza–: 100% de cobertura en el abastecimiento de agua potable, y la instalación de 3800 conexiones de alcantarillado, durante los primeros cuatro años de la concesión. Al mismo tiempo, el Viceministerio de Servicios Básicos, máxima autoridad sectorial en Bolivia, con la asistencia técnica del Programa de Agua y Saneamiento, PAS, y el apoyo financiero de la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, ASDI, estaba comprometido en la búsqueda de soluciones al saneamiento básico de áreas marginales urbanas, que pudieran ser adoptadas ampliamente en todo el país. Fue así como, uniendo los intereses y los esfuerzos de estas y otras instituciones, fue posible probar y validar en el contexto boliviano el *sistema condominial* mediante la implementación del Proyecto Piloto El Alto (PPEA).

Los resultados del Proyecto Piloto son ampliamente satisfactorios. Su implementación ha hecho posible el acceso a los servicios de agua y alcantarillado, con una significativa reducción de costos, a unas 11.000 personas en las ciudades de El Alto y La Paz. Pero tal vez su efecto más importante ha sido que, a partir de la

validación del sistema condominial en este proyecto, el país cuenta con una nueva alternativa de menor costo, para atender la demanda de miles de familias bolivianas que hoy, dado sus reducidos ingresos, no tendrían la posibilidad de acceder a estos servicios utilizando sistemas convencionales.

Para el Programa de Agua y Saneamiento en la Región Andina –institución que ha estado a cargo de la implementación del Proyecto Piloto, de la documentación y divulgación de sus resultados, lo mismo que del proceso de institucionalización del sistema condominial–, resulta muy satisfactorio poder ofrecer a las instituciones de gobierno, organismos ejecutores, ONGs y demás actores del sector, los instrumentos para apoyar y facilitar su réplica en Bolivia, de los cuales forma parte el presente “Manual de diseño y construcción”. En su preparación, han

participado los profesionales ingenieros del Programa de Agua y Saneamiento que integraron el equipo de implementación del Proyecto Piloto El Alto, con el apoyo de especialistas en sistemas condominiales de Brasil.

Esperamos que los instrumentos, que hoy ponemos a disposición de los actores del sector, apoyen efectivamente la réplica del sistema condominial en Bolivia, con lo cual será posible ampliar el alcance de las inversiones y mejorar las posibilidades de acceso a estos servicios de un mayor número de familias bolivianas, con el consecuente impacto en sus niveles de bienestar y calidad de vida.

Carmen Arévalo Correa  
Directora

**Programa de Agua y Saneamiento**  
**Región Andina**

# Índice

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>1. ESTUDIOS BÁSICOS</b>	<b>11</b>
1.1 Características del área del proyecto	11
1.2 Estudio de los recursos hídricos y calidad de agua para consumo humano	11
1.3 Estudios topográficos	12
1.4 Estudio geotécnico	12
1.5 Plan maestro de desarrollo urbano	12
1.6 Descripción y diagnóstico del sistema de agua potable	13
1.7 Descripción y diagnóstico del sistema existente de alcantarillado sanitario	13
1.8 Características socioeconómicas de la población en estudio	13
<b>2. PARÁMETROS DE DISEÑO</b>	<b>14</b>
2.1 Período de diseño	14
2.2 Población	14
2.3 Dotación de agua potable	17
2.4 Coeficiente de retorno (C)	17
2.5 Coeficiente de punta	17
2.6 Caudal por infiltración	17
2.7 Caudal por conexiones erradas	17
2.8 Cuantificación de caudales de aporte	18
2.9 Aporte de aguas industriales, comerciales y públicas	18
<b>3. CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO</b>	<b>19</b>
3.1 Fórmulas para diseño	19
3.2 Criterio de la tensión tractiva	20
3.3 Pendiente mínima	20
3.4 Coeficiente de rugosidad	22
3.5 Diámetro mínimo	22
3.6 Profundidad de instalación	22
3.7 Dimensiones del ancho de zanja	22
<b>4. DISEÑO GEOMÉTRICO - TRAZADO DE REDES</b>	<b>23</b>
4.1 Red Pública	23
4.2 Ramal condominial	24
<b>5. CÁMARAS DE INSPECCIÓN</b>	<b>27</b>
5.1 Tipos de cámaras de inspección y ubicación	27
5.2 Cámaras de inspección de hormigón prefabricado	27
5.3 Cámaras de inspección de PVC	28
<b>6. CONEXIONES AL RAMAL CONDOMINIAL</b>	<b>30</b>
6.1 Conexión dentro del lote	30
6.2 Conexión fuera del lote	31
<b>7. ACTIVIDADES PREVIAS AL CÁLCULO HIDRÁULICO – RED PÚBLICA</b>	<b>32</b>
<b>8. CÁLCULO HIDRÁULICO</b>	<b>34</b>
<b>ANEXO 1 Ejemplo de cálculo hidráulico</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO 2 Características del área del proyecto – Formulario de referencia</b>	<b>42</b>



# Introducción

---

**El presente Manual de diseño y construcción de sistemas de alcantarillado sanitario condominial forma parte de un conjunto de documentos publicados por el Programa de Agua y Saneamiento, PAS, con el apoyo financiero de la Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, ASDI, con el objetivo de apoyar la réplica del sistema condominial, probado y validado en el contexto boliviano mediante la implementación del Proyecto Piloto El Alto, PPEA.**

El sistema condominial se origina en Brasil en la década de los años 80 como una alternativa de menor costo al sistema convencional, para la dotación de servicios de alcantarillado sanitario. Estos menores costos provienen de dos de las características básicas del sistema condominial. La primera está relacionada con el trazado y diseño de las redes, ya que al tenderlas a lo largo de las aceras o veredas, en los jardines o al interior de los lotes, en lugar de hacerlo en el centro de las calles, como en el sistema convencional, es posible obtener ahorros sustanciales en cuanto a la longitud, el diámetro y la profundidad de las tuberías empleadas. La segunda es la forma de integrar el trabajo social y la participación

comunitaria con los aspectos técnicos de ingeniería y diseño. Al involucrar al usuario en todo el proceso –planificación y diseño, construcción y mantenimiento de las redes– es posible lograr una reducción aun mayor de los costos.

Este manual trata de los aspectos específicos relacionados con el diseño de las redes del alcantarillado sanitario y está dirigido a ingenieros proyectistas interesados en utilizar el sistema condominial. Su contenido abarca los principales componentes del proceso desde el punto de vista técnico, haciendo énfasis en los aspectos particulares del sistema condominial. Presenta los principales criterios relacionados con el diseño de las redes, incluyendo los parámetros utilizados, así como el procedimiento de cálculo hidráulico de las redes de acuerdo al modelo de tuberías con sección parcialmente llena.

Finalmente, es necesario aclarar que en el caso del sistema condominial, los diseños preparados por el proyectista a partir de la utilización de este manual deben ser considerados como preliminares. Permiten estimar los costos y presupuestos para la contratación de las obras y son la base para la discusión sobre el trazado y localización definitiva de las redes con los usuarios. Los diseños definitivos del sistema a construirse resultarán de este proceso de participación y consulta con la comunidad que va a ser atendida por el proyecto.



# 1. Estudios básicos

Antes de iniciar el diseño de un sistema de alcantarillado condominial, es necesario tener un conocimiento detallado del área donde se pretende implantar el sistema, considerando todas sus potencialidades y las limitaciones para poner en marcha un modelo de este tipo.

Estos estudios básicos deben determinar no solamente los aspectos relacionados a la parte técnica de las obras, como la topografía, tipo de suelo, drenaje, etc., sino también aspectos socioeconómicos y culturales de la población a atender, tales como el nivel de ingresos, consumo de agua, demanda por los servicios, hábitos de higiene, etc.

Los estudios básicos requeridos serán detallados a continuación.

## 1.1 Caracterización del área del proyecto

El área seleccionada deberá contar con una serie de características deseables para que el proyecto pueda lograr su objetivo, es decir, el desarrollo de una solución de alcantarillado de bajo costo y sostenible.

Algunas de estas características se presentan a continuación:

- Estar dentro de los límites del perímetro urbano de la ciudad.
- Ser parte del plan regulador o plan de ocupación y usos del suelo de la ciudad.

- Contar con servicio de agua potable.
- Tener una ocupación de 60 - 70% de los lotes existentes.
- Ser representativa de la situación de saneamiento de la ciudad.
- No demandar soluciones tecnológicas sofisticadas, como muchas estaciones de bombeo o nivel de tratamiento muy elevado.

Además, se deberá contar con la siguiente información relacionada con el área del proyecto, como soporte a la preparación de los diseños del sistema de alcantarillado:

- Población a ser atendida: actual y futura.
- Nivel general de ingresos, y voluntad de pago por el servicio.
- Nivel cultural general.
- Hábitos de higiene de la población.
- Situación sanitaria.
- Potencial, capacidad y voluntad para la participación comunal.
- Demanda por servicio de alcantarillado.
- Voluntad de participación comunal.

## 1.2 Estudio de los recursos hídricos y calidad de agua para consumo humano

Se deben realizar los estudios necesarios que permitan verificar la oferta de agua, a fin de garantizar el abastecimiento actual y futuro de

agua potable y el adecuado funcionamiento del sistema de alcantarillado.

Los principales estudios técnicos especializados serán los siguientes:

#### **a) Estudios hidrogeológicos**

Esta investigación comprenderá varios procesos relacionados con las circunstancias que se presenten debido a las condiciones geológicas e hidrológicas de la región de estudio, así como la importancia de la población y la situación económica de sus habitantes.

Una vez determinados los caudales disponibles y aprovechables, si es necesario, deberá resolverse el tratamiento de las aguas, con el fin de garantizar que la calidad del agua para el consumo cumpla con los estándares de calidad vigentes en el país.

#### **b) Determinaciones hidrométricas**

Hay que estudiar y cuantificar las fuentes posibles para el abastecimiento a la población. En el caso de fuentes superficiales, la investigación hidrométrica consistirá en aforar en distintas épocas del año la fuente de aprovisionamiento o deducir su valor utilizando los datos hidrológicos correspondientes, de acuerdo a las precipitaciones pluviales, para determinar el caudal mínimo disponible.

En el caso de fuentes subterráneas, los estudios hidrogeológicos comprenderán pruebas de bombeo, aforos y determinaciones del comportamiento de los acuíferos y capacidad y posibilidad de explotabilidad para que el abastecimiento a la población sea conveniente y apropiado.

### **1.3 Estudios topográficos**

El levantamiento planialtimétrico del área de proyecto y de sus zonas de expansión será presentado en una escala mínima de 1:1000, con curvas de nivel cada metro y cotas de nivel de la rasante del terreno en todas las intersecciones de calle (cruceos) y puntos importantes.

Se debe presentar un plano en planta, en escala mínima 1:10.000, en el cual estén representadas, en conjunto, las áreas de las cuencas de drenaje.

Se realizará el levantamiento de obstáculos superficiales y subterráneos, desniveles y lugares por donde será trazada la red colectora. Principalmente:

- Dimensiones de los anchos de frente de lote, anchos de calles o avenidas.
- Cordones de acera, aceras, postes, tapas de cámaras y otros de importancia.
- Accidentes naturales como riachuelos, paso de quebradas y otros.
- Líneas de conducción o emisarios existentes.
- Perfiles longitudinales sobre los ejes de las calles o avenidas, etc.

Además, será necesario ubicar "Bench Mark" (BM) en lugares visibles y accesibles como calles, avenidas, plazas, iglesias, colegios, escuelas, edificios públicos, etc. Los BM deberán ser mojoneros de hormigón ciclópeo de forma cilíndrica de diámetro 0.20m. y de 0.30 m. de profundidad. Estos serán localizados a distancias prudentes para su uso posterior.

### **1.4 Estudio geotécnico**

El estudio geotécnico será realizado para determinar las características geológicas y geotécnicas referidas a las propiedades físicas y mecánicas del suelo y subsuelo para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario. Además, los estudios de suelos tienen que incluir la determinación del nivel freático y los siguientes valores:

- Módulo de elasticidad del suelo (E').
- Análisis granulométrico.
- Clasificación de suelo (según ASTM D2487).
- Límites de Atterberg (líquido y plástico).
- Ángulo de fricción interna.
- Tensión admisible y cohesión.
- Peso específico del suelo de relleno.
- Peso específico saturado del suelo de relleno.

### **1.5 Plan maestro de desarrollo urbano**

Se deberá contar con información sobre planos directores existentes del área urbana, planos de expansión urbana, tipo de ocupación del suelo, tendencias y pronósticos de desarrollo socio-económico.

### **1.6 Descripción y diagnóstico del sistema de agua potable**

Se recopilará información sobre la entidad responsable del servicio, condiciones del servicio, componentes del sistema, conexiones domiciliarias, calidad y cantidad del agua y las principales deficiencias del sistema.

### **1.7 Descripción y diagnóstico del sistema existente de alcantarillado sanitario**

Es necesario contar con información sobre la entidad responsable del servicio, condiciones del servicio, componentes del sistema, conexiones domiciliarias, descripción de las cuencas de drenaje, descripción del cuerpo receptor (ríos,

quebradas, solares, etc.), tratamiento de aguas residuales, y principales deficiencias del servicio. Si la zona no cuenta con alcantarillado sanitario, se deberá describir las condiciones de la disposición de excretas.

### **1.8 Características socioeconómicas de la población en estudio**

Para describir la condición socioeconómica (niveles de ingreso), los hábitos de higiene de los habitantes de la zona del proyecto y la relación entre el precio del agua y su consumo (Curva de demanda), se realizará una encuesta socioeconómica para establecer la “Línea de base” correspondiente.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ver detalles en la “Guía de procedimientos para la implementación de sistemas condominiales de alcantarillado sanitario”, publicada por el PAS.

## 2. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño definen el tamaño del sistema a ser construido y deberán ser establecidos de acuerdo con la demanda real por el servicio, ya que tienen incidencia directa en los costos de inversión, operación y mantenimiento de los sistemas instalados.

### 2.1 Período de diseño

El período de diseño permite definir el tamaño del proyecto en base a la población a ser atendida al final del mismo.

Si el período de un proyecto es corto, inicialmente el sistema requerirá una inversión menor, pero luego exigirá inversiones sucesivas de acuerdo con el crecimiento de la población. Por otro lado, la ejecución de un proyecto con un período de diseño mayor requerirá mayor inversión inicial, pero luego no necesitará de nuevas inversiones por un buen tiempo.

Cuando se diseña un sistema condominial en áreas periurbanas, donde la demanda es mayor que los recursos disponibles, será una buena estrategia acortar el período del proyecto. De esta manera, se consiguen costos más bajos que permiten atender de inmediato a una población mayor.

El período de diseño de un sistema condominial deberá ser optimizado en el caso de zonas con bajos ingresos y donde la demanda por el servicio sea mayor que los recursos

económicos disponibles, para evitar períodos muy largos y maximizar la cobertura a mediano plazo.

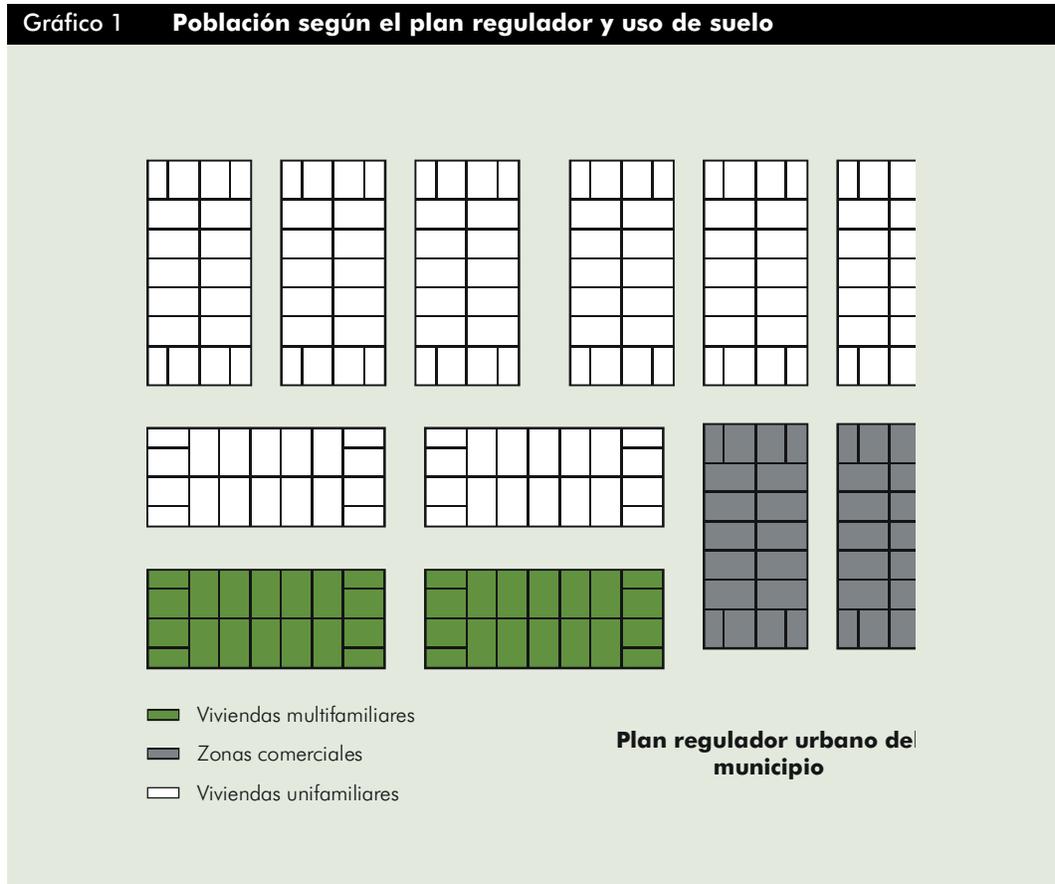
### 2.2 Población

El proyectista deberá realizar el estudio demográfico basado en datos censales e información local y regional para el cálculo de la población a ser atendida por el proyecto. Habrá que determinar la población y las densidades poblacionales de acuerdo con las zonas de ocupación homogénea, siguiendo las categorías residencial (unifamiliar o multifamiliar), comercial, industrial y pública, para el inicio y final de proyecto.

Para obtener una buena aproximación entre el parámetro a ser utilizado en el diseño y la demanda futura de la población del proyecto, serán necesarios, por lo menos, los siguientes estudios:

El primer estudio pondrá énfasis en la población futura, resultante de la ocupación total del área de acuerdo al plan maestro de desarrollo urbano, o plan regulador de uso de suelo establecido por el municipio, que determina la categoría de vivienda a ser construida en la zona (gráfico 1 y cuadro 1).

El resultado será la población de saturación, producto del número de viviendas por la densidad de ocupación prevista; pero sin referencia temporal.

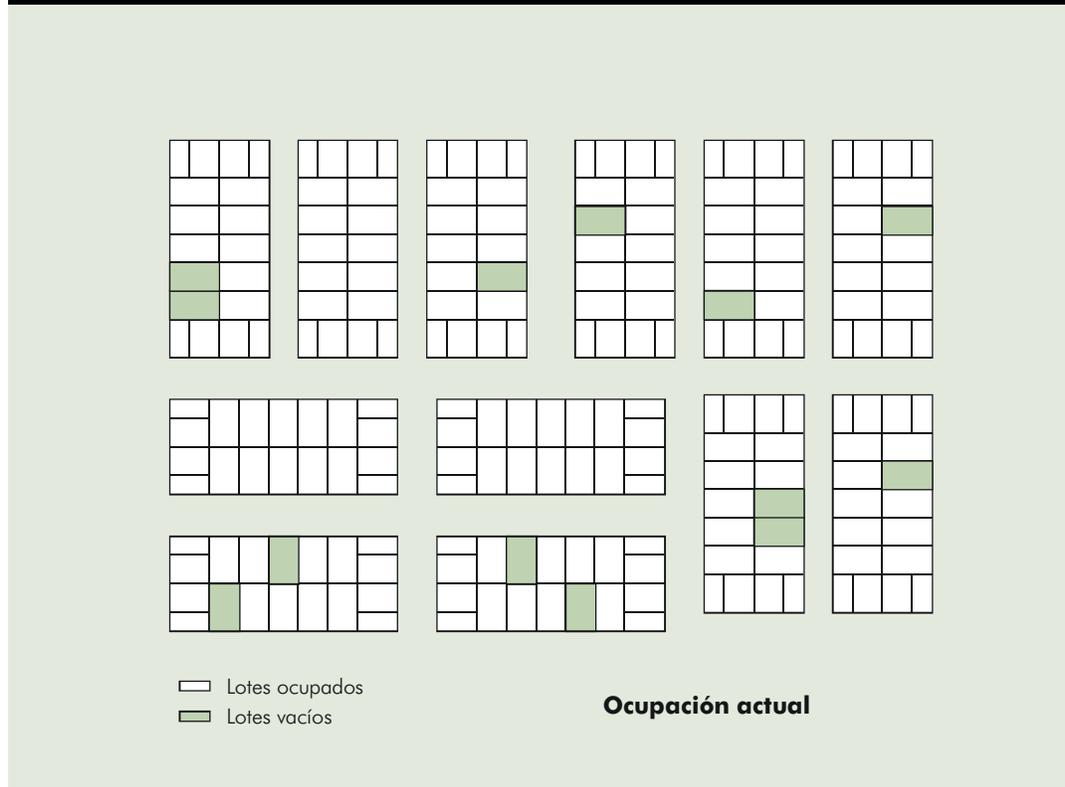


**Cuadro 1 Población de saturación según el plan regulador de uso de suelo**

TIPO DE OCUPACIÓN	Número de lotes	Número de viviendas	Tasa de ocupación	Población resultante
Unifamiliar	144	144	5,50	792
Multifamiliar (hasta 6 departamentos)	36	216	5,50	1188
Comercial (10 habitantes equivalentes)	36	—	10	360
<b>Total</b>				<b>2340</b>

El segundo estudio se relaciona con el crecimiento de la población en función del tiempo, a partir de la población verificada al inicio mediante datos censales en el área de proyecto y tasas de crecimiento anual; sin considerar las limitaciones del plan regulador (gráfico 2 y cuadro 2).

El proyectista deberá tener cierta precaución en utilizar las tasas promedio de crecimiento de la ciudad como un todo; ya que normalmente se relacionan a una expansión horizontal con aumento del área urbana. El crecimiento vertical del área de proyecto, normalmente, es más bajo.

**Gráfico 2 Población en función del tiempo y datos censales****Cuadro 2 Población por tasa de crecimiento**

Tipo de lote	Número de viviendas ocupadas	Población actual verificada (censo)	Densidad de ocupación	Tasa de crecimiento anual	Población al final del periodo de 15 años
Unifamiliar	136	715	5,25	3,5%	1179
Multifamiliar	192	864	4,50	3,5%	1425
<b>Total</b>					<b>2604</b>

Del ejemplo anterior, se observa que la población calculada según tasas de crecimiento es mayor que la resultante del plan regulador y uso de suelo. El proyectista deberá definir la opción más probable.

Además, se tendrá que tomar en cuenta que el número de habitantes por vivienda y la densidad de ocupación, generalmente, tienen relación directa con el nivel de ingresos de la comunidad. En áreas de altos ingresos, el número medio de personas en una vivienda puede ser

de 3,5 hab / vivienda. En áreas de bajos ingresos, este número puede llegar a ser tan alto como 10 hab / vivienda. Esto se debe a que comúnmente en las áreas de bajos recursos de la ciudad una sola vivienda puede estar habitada por más de una familia.

Para la elaboración del diseño, el proyectista debe obtener una cifra real de la densidad ocupacional basada en los levantamientos demográficos realizados durante la caracterización del área.

Los valores siguientes pueden ser considerados como una primera referencia de la densidad de ocupación:

<b>Cuadro 3 Densidad de ocupación</b>	
<b>Tipo de zona según nivel de ingresos</b>	<b>Densidad de ocupación (hab / vivienda)</b>
Alto	4,00
Medio	5,50
Bajo	7,00

### 2.3 Dotación de agua potable

El volumen de descarga de aguas residuales depende directamente del consumo de agua en la zona. Por esto, para diseñar el sistema de alcantarillado, habrá que definir la dotación de agua potable por habitante. La dotación, a su vez, dependerá del clima, el tamaño de la población, características económicas, culturales, información sobre el consumo medido en la zona, etc.

Normalmente, en áreas de bajos ingresos se registran bajos consumos de agua. Un valor promedio utilizado en el diseño podría ser de 80 a 120 l/h/día.

El cuadro 4 muestra, como referencia, niveles de ingreso y su respectivo consumo de agua (l/h/día):

<b>Cuadro 4 Niveles de ingreso y dotación de agua potable</b>	
<b>Tipo de área a ser atendida según nivel de ingresos</b>	<b>Dotación per-cápita (l/h/día)</b>
Alto	250 - 180
Medio	180 - 120
Bajo	120 - 80

### 2.4 Coeficiente de retorno (C)

Se ha estimado, mediante estudios estadísticos, el porcentaje de agua abastecida que llega a la red de alcantarillado. Este coeficiente oscila entre el 60% y 80% de la dotación de agua potable.

El proyectista deberá en casos específicos ajustarse a la realidad y hábitos de higiene de la zona, siempre y cuando realice estudios de respaldo.

### 2.5 Coeficiente de punta

La relación entre el caudal medio diario y el caudal máximo horario, denominado "coeficiente de punta", se obtiene mediante la ecuación de Harmon o valores de k1 y k2 (coeficientes de máximo caudal diario y horario). El valor recomendado está en el rango de 2 a 3,8 y depende del tamaño de la población a ser atendida.

### 2.6 Caudal por infiltración

El caudal de infiltración se determinará considerando los siguientes aspectos:

- Altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.
- Dimensiones, estado y tipo de alcantarillas, y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.
- Material de la tubería y tipo de unión.

En el cuadro 5 se presentan valores sugeridos para la infiltración:

<b>Cuadro 5 Valores de infiltración</b>		
<b>Nivel freático</b>	<b>Tipo de unión</b>	<b>Caudal de infiltración l/s/km</b>
Bajo	anillo de goma	0.05
Alto	anillo de goma	0.50

### 2.7 Caudal por conexiones erradas

Se deben considerar los caudales provenientes de malas conexiones o conexiones erradas, así como las conexiones clandestinas de patios domiciliarios que incorporan al sistema aguas pluviales. El caudal por conexiones erradas puede ser del 5% al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales.

## 2.8 Cuantificación de caudales de aporte

Los caudales de aporte que concurren a las redes de alcantarillado sanitario, para el inicio y final del período de diseño, serán determinados utilizando las siguientes ecuaciones:

a) Caudal medio diario

$$Q_m = C \frac{PD}{86400}$$

Donde:

$Q_m$  = Caudal medio diario (l/s)

$C$  = Coeficiente de retorno

$P$  = Población

$D$  = Dotación (l/hab/d)

b) Caudal máximo horario

$$Q_{\max} = MQ_m \text{ (l/s)}$$

Donde:

$Q_m$  = Caudal medio diario (l/s)

$M$  = Coeficiente de punta

c) Caudal de diseño

El dimensionamiento de los conductos deberá atender los máximos caudales de descarga según la siguiente expresión:

$$Q_d = Q_{\max} + Q_i + Q_e$$

Donde:

$Q_d$  = Caudal de diseño (l/s)

$Q_{\max}$  = Caudal máximo horario

$Q_i$  = Caudal por infiltración

$Q_e$  = Caudal por conexiones erradas

## 2.9 Aporte de aguas industriales, comerciales y públicas

La contribución de aguas residuales industriales, comerciales e institucionales será evaluada en forma puntual y como descarga concentrada a la red, de acuerdo con los niveles de consumo. La calidad de descarga estará condicionada a la Ley de Medio Ambiente y a sus reglamentos.

## 3. Criterios de diseño de redes de alcantarillado

### 3.1 Fórmulas para diseño

La técnica de cálculo admite el escurrimiento en régimen permanente y uniforme, en el cual el caudal y la velocidad promedio permanecen constantes a lo largo de la corriente líquida.

Fórmula de Manning:

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

Donde:

$V$  = velocidad (m/s)

$n$  = coeficiente de rugosidad (adimensional)

$R$  = radio hidráulico (m)

$S$  = pendiente (m/m)

Para tuberías con sección llena:

Velocidad:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Continuidad:  $Q = VA$

Donde:

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = área de la sección circular (m<sup>2</sup>)

Caudal:

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Para tuberías con sección parcialmente llena:

El ángulo central  $\alpha^\circ$  (en grado sexagesimal):

$$\alpha^\circ = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{2h}{D} \right]$$

Radio hidráulico:

$$R = \frac{D}{4} \left[ 1 - \frac{360 \sin \frac{\alpha^\circ}{2}}{2p\alpha^\circ} \right]$$

Velocidad:

$$V = \frac{0.397 D^{\frac{2}{3}}}{n} \left[ 1 - \frac{360 \sin \frac{\alpha^\circ}{2}}{2p\alpha^\circ} \right]^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Caudal:

$$Q = \frac{D^{\frac{8}{3}}}{7257.15n} \left( 2p\alpha^\circ - 360 \sin \frac{\alpha^\circ}{2} \right)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

### 3.2 Criterio de la tensión tractiva

Las tuberías del sistema de alcantarillado deberán cumplir la condición de autolimpieza para limitar la sedimentación de arena. La eliminación continua de sedimentos de los colectores es costosa y, en caso de falta de mantenimiento, se pueden generar problemas de obstrucción y taponamiento.

Por lo tanto, es aconsejable utilizar pendientes que den lugar a velocidades autolimpiantes en condiciones críticas de flujo (bajo caudal y tirante). Incluso cuando el incremento de costos de construcción con pendientes más pronunciadas suponga costos fijos mayores que el costo adicional de mantenimiento de los colectores si se hubiesen construido con pendientes menores.

La tensión tractiva, o tensión de arrastre, es el esfuerzo tangencial unitario ejercido por el líquido sobre el colector y en consecuencia sobre el material depositado. Tiene la siguiente expresión:

$$\tau = rgRS$$

Donde:

$\tau$  = Tensión de arrastre, en pascal (Pa).

$r$  = Densidad del agua  
= 1000 (kg/m<sup>3</sup>).

$g$  = Aceleración de la gravedad  
= 9,81 m/s<sup>2</sup>

$R$  = Radio hidráulico (m).

$S$  = Pendiente de la tubería (m/m).

La pendiente del colector será calculada con el criterio de la tensión tractiva, según la siguiente expresión:

*Pendiente para tuberías con sección llena:*

$$S = \frac{\tau}{rgR}$$

*Pendiente para tuberías para sección parcialmente llena:*

$$S = \frac{\tau}{rg \frac{D^2}{4} \left[ 1 - \frac{360 \sin \alpha}{2 \rho \alpha} \right]}$$

#### 3.2.1 Tensión tractiva mínima

La tensión tractiva mínima para el cálculo de la pendiente será:

$$\tau = 1 \text{ Pa}$$

En los tramos iniciales, la verificación de la tensión tractiva mínima no podrá ser inferior a 0,60 Pa.

### 3.3 Pendiente mínima

La pendiente del colector será determinada para garantizar la condición de autolimpieza desde la etapa inicial del proyecto, de acuerdo con la siguiente relación de caudales:

$$\frac{Q_{mi}}{Q_{ll}} = 0,10 \text{ a } 0,15 \text{ (10\% a 15\%)}$$

Donde:

$Q_{mi}$  = Caudal de aporte medio diario en la etapa inicial (sección parcialmente llena).

$Q_{ll}$  = Capacidad de la tubería para conducir el caudal de diseño ( $Q_d$ ), (sección llena).

Otras relaciones de caudal deberán ser justificadas con información correspondiente a caudales de aporte presente y sus proyecciones.

#### 3.3.1 Pendiente mínima admisible

La pendiente mínima admisible será determinada para las condiciones de flujo, establecidas en el numeral 3.3, para una tensión tractiva media de 1 Pa.

**3.3.1.1 Relación de caudal**

$$\frac{Q_p}{Q_{II}} = 0.15 \cdot \frac{h}{D} = 0.2618$$

(de las propiedades hidráulicas de la sección circular).

El ángulo central (grado sexagesimal):

$$\alpha^\circ = 2 \arccos \left[ 1 - \frac{2h}{D} \right] = 123.10^\circ$$

Radio hidráulico:

$$R_p = 0.1525D$$

Pendiente mínima:

$$S_{\min} = \frac{t_{\min}}{rgR_p} = \frac{t_{\min}}{rg \cdot 0.1525D} \text{ (m/m)}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores, se presentan en el cuadro 6, las pendientes mínimas admisibles para diferentes diámetros y los valores de velocidad y caudal a sección llena.

De acuerdo con las características topográficas de la zona del proyecto, los colectores deben ser dimensionados con la pendiente natural del terreno. Sin embargo, las pendientes no serán inferiores a la mínima admisible para permitir la condición de autolimpieza desde el inicio de

funcionamiento del sistema, cuando se presentan caudales de aporte bajos y condiciones de flujo críticas.

**Cuadro 6 Pendiente mínima en colectores de alcantarillado sanitario (Qmi / QII = 0,15)**

Diámetro M	Pendiente mínima S <sub>min</sub> (miles) o/oo	Sección llena	
		Velocidad m/s	Caudal l/s
0,10	6,68	0,54	4,22
0,15	4,46	0,58	10,17
0,20	3,34	0,60	18,96
0,25	2,67	0,63	30,75
0,30	2,23	0,65	45,65
0,35	1,91	0,66	63,75
0,40	1,67	0,68	85,13
0,45	1,49	0,69	109,88
0,50	1,34	0,70	138,06

Las pendientes fueron obtenidas para los siguientes valores:

$$t_{\min} = 1 \text{ Pa} \quad r = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad n = 0,013$$

**3.3.2 Pendiente mínima admisible para diferentes relaciones de caudal**

Se podrán establecer otras relaciones de caudal presente y futuro, de acuerdo con las condiciones locales (caudales de aporte). En este caso, la pendiente mínima será obtenida del cuadro 7.

**Cuadro 7 Pendiente mínima para diferentes relaciones de caudal**

Q/QII	Criterios de diseño			Pendiente mínima Smin (miles)	Flujo a sección llena	
	h/D	R/D	Tt (Pa)		VII (m/s)	QII (m³/s)
0.10	0.2136	0.1278	1.0	0.7976 D <sup>-1</sup>	0.8622 D <sup>0.1667</sup>	0.6771 D <sup>2.1667</sup>
0.15	0.2618	0.1525	1.0	0.6684 D <sup>-1</sup>	0.7892 D <sup>0.1667</sup>	0.6199 D <sup>2.1667</sup>
0.25	0.3408	0.1895	1.0	0.5379 D <sup>-1</sup>	0.7080 D <sup>0.1667</sup>	0.5561 D <sup>2.1667</sup>
0.35	0.4084	0.2175	1.0	0.4687 D <sup>-1</sup>	0.6609 D <sup>0.1667</sup>	0.5190 D <sup>2.1667</sup>

### 3.4 Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad “n” de la fórmula de Manning será de 0,013 en alcantarillas sanitarias, para tuberías de cualquier tipo de material.

### 3.5 Diámetro mínimo

El diámetro mínimo de los colectores de alcantarillado sanitario, de acuerdo con las experiencias en Bolivia y Brasil, puede ser de 100 mm (4”). Este valor para el diámetro es suficiente para transportar caudales principalmente en los arranques. El colector puede ser instalado con una pendiente mínima, sugerida en el párrafo anterior.

### 3.6 Profundidad de instalación

La profundidad mínima de instalación de una tubería será definida en función de los siguientes aspectos:

<b>Cuadro 8 Profundidad del recubrimiento - Tubería de PVC</b>	
<b>Ubicación del colector</b>	<b>Recubrimiento Mínimo (m)</b>
Red principal por la calzada de la vía pública	0.85
Red principal por las áreas verdes/jardines	0.55
Ramales por el fondo, por las aceras	0.35 – 0,45
Ramales por el fondo, por medio de lotes	0,30

<b>Cuadro 9 Anchos de zanja recomendados (Diámetro 100 y 150 mm)</b>		
<b>Redes / ramales</b>	<b>Profundidad de zanja (m)</b>	<b>Ancho de zanja (m)</b>
Redes principales	0.85 - 1.30	0.55 - 0.60
	Mayor a 1.30	0.65
Ramales condominiales	0.45 – 0.60	0.35
	0.60 – 1.20	0.60

#### 3.6.1 Recubrimiento mínimo

La profundidad del recubrimiento, medida a partir de la clave de la tubería, será definida por el cálculo estructural de la tubería instalada en zanja, considerando que los esfuerzos a los que está sometida dependen de las características del suelo, cargas de relleno y vehicular, tipo de material de la tubería, cama de asiento, ubicación y trazado en el terreno.

El cálculo estructural deberá cumplir con las recomendaciones de las normas técnicas vigentes, de acuerdo al material empleado.

Se podrán utilizar diferentes tipos de materiales para tuberías y accesorios, siempre que cuenten con la certificación normativa del organismo competente autorizado en el país.

Usualmente, en el sistema condominial de alcantarillado sanitario, la red pública o principal se localiza por el medio de las calles y está sujeta a las cargas vehiculares. En caso de ser instalada en áreas protegidas, se podrá reducir la altura del recubrimiento.

El cuadro 8 puede orientar al proyectista sobre la profundidad del recubrimiento.

#### 3.6.2 Conexión de descargas domiciliarias

La profundidad mínima del colector deberá permitir la correcta conexión de las descargas domiciliarias a la red pública de alcantarillado. (La Norma vigente para instalaciones domiciliarias en Bolivia, establece una pendiente mínima del 2% desde la cámara de inspección domiciliaria hasta la tubería de recolección).

### 3.7 Dimensiones del ancho de zanja

Las dimensiones del ancho de zanja deberán permitir suficiente comodidad al obrero para realizar las actividades de tendido de la tubería. En el cuadro 9, se presentan anchos recomendados en función de la profundidad.

En general, debido a las profundidades mínimas de instalación de redes y ramales del sistema condominial, no se requiere el entubado de zanjas. Sin embargo, el proyectista deberá tomar las previsiones correspondientes e incrementar el ancho de zanja de acuerdo con las características del terreno y la presencia de nivel freático.

## 4. Diseño geométrico - Trazado de redes

### 4.1 Red pública

La red pública es el conjunto de tuberías que reciben las aguas residuales de ramales condominiales o conexiones domiciliarias<sup>2</sup>.

Para el trazado de las redes públicas, el proyectista deberá disponer de:

- Un plano del área del proyecto urbanizada a escala 1:2000, resultado del levantamiento topográfico, con curvas de nivel cada metro y el detalle de manzanos, calles, avenidas, canales, cursos naturales de agua, puentes vehiculares, peatonales, cámaras del sistema de alcantarillado existente, posibles

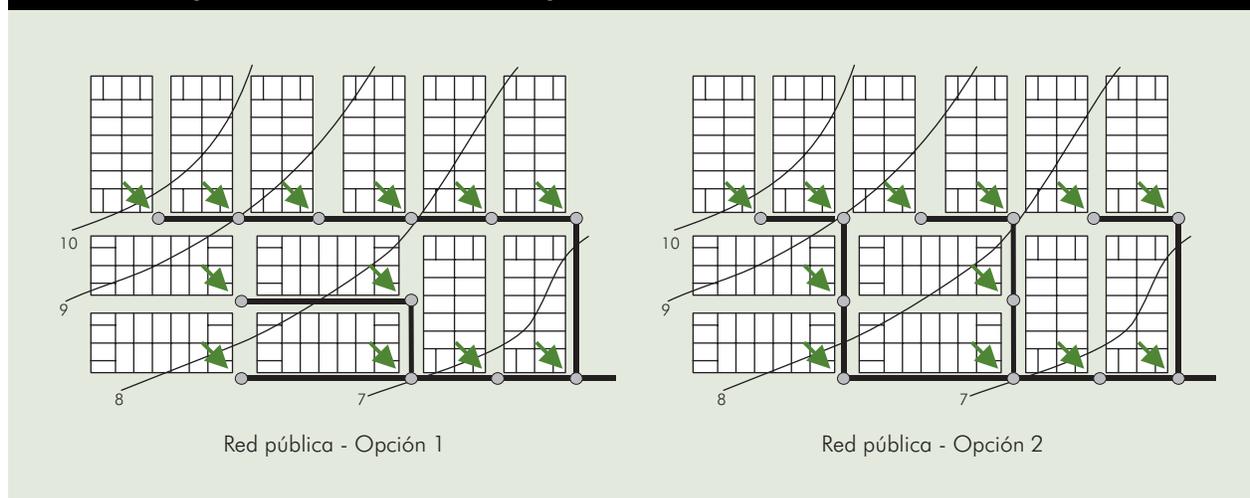
puntos de bombeo, tratamiento y descarga de las aguas residuales.

- Cotas del nivel del terreno en todas las intersecciones de calle (cruce) y puntos de interés, debidamente referenciados.

El trazado de las redes públicas se realizará a partir de los puntos de cota más elevada (arranque) hacia el punto de cota más baja (descarga) y siguiendo el drenaje natural del terreno. El proyectista deberá analizar las alternativas de trazado para obtener la menor extensión de red y conectar todos los manzanos.

En el gráfico 3, a manera de ejemplo, se presentan dos opciones:

**Gráfico 3 Opciones de trazado de redes públicas**



<sup>2</sup> Para Bolivia, véase la terminología definida en el numeral 3.6.2 – Capítulo II de la Norma Boliviana NB 688.

La red pública puede ser ubicada en el centro de calle o avenida. Sin embargo, de preferencia será ubicada en las áreas más protegidas del tránsito vehicular, utilizando, siempre que sea posible, las aceras, los parques y los jardines existentes. La opción de trazado seleccionada se indica en el gráfico 4.

La información sobre cada tramo será incorporada en la planilla de cálculo hidráulico (ver modelo en el ejemplo de cálculo), con la siguiente información básica:

- Número de cámara inicial.
- Número de cámara final.
- Número de tramo.
- Cota de terreno inicial.
- Cota de terreno final.
- Longitud.

#### 4.2 Ramal condominial

El ramal condominial es la tubería que recolecta aguas residuales de un conjunto de edificaciones con descarga a la red pública en un punto.<sup>3</sup>

Según el drenaje natural del terreno, el proyectista definirá la ubicación más probable del ramal condominial que atenderá cada manzana, conectando todas las edificaciones hasta un punto de la red pública. Se presenta un ejemplo de trazado en el gráfico 5.

Según la topografía y el trazado urbano, una manzana podrá tener más de un ramal condominial (véase gráfico 6).

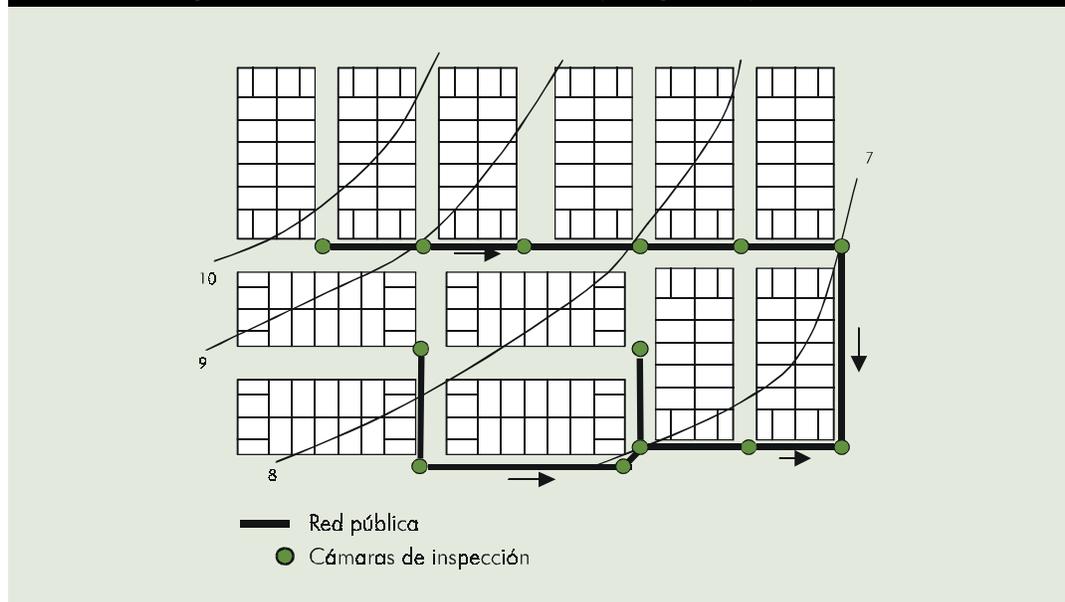
La información de cada ramal será incorporada en una tabla, con la siguiente información básica:

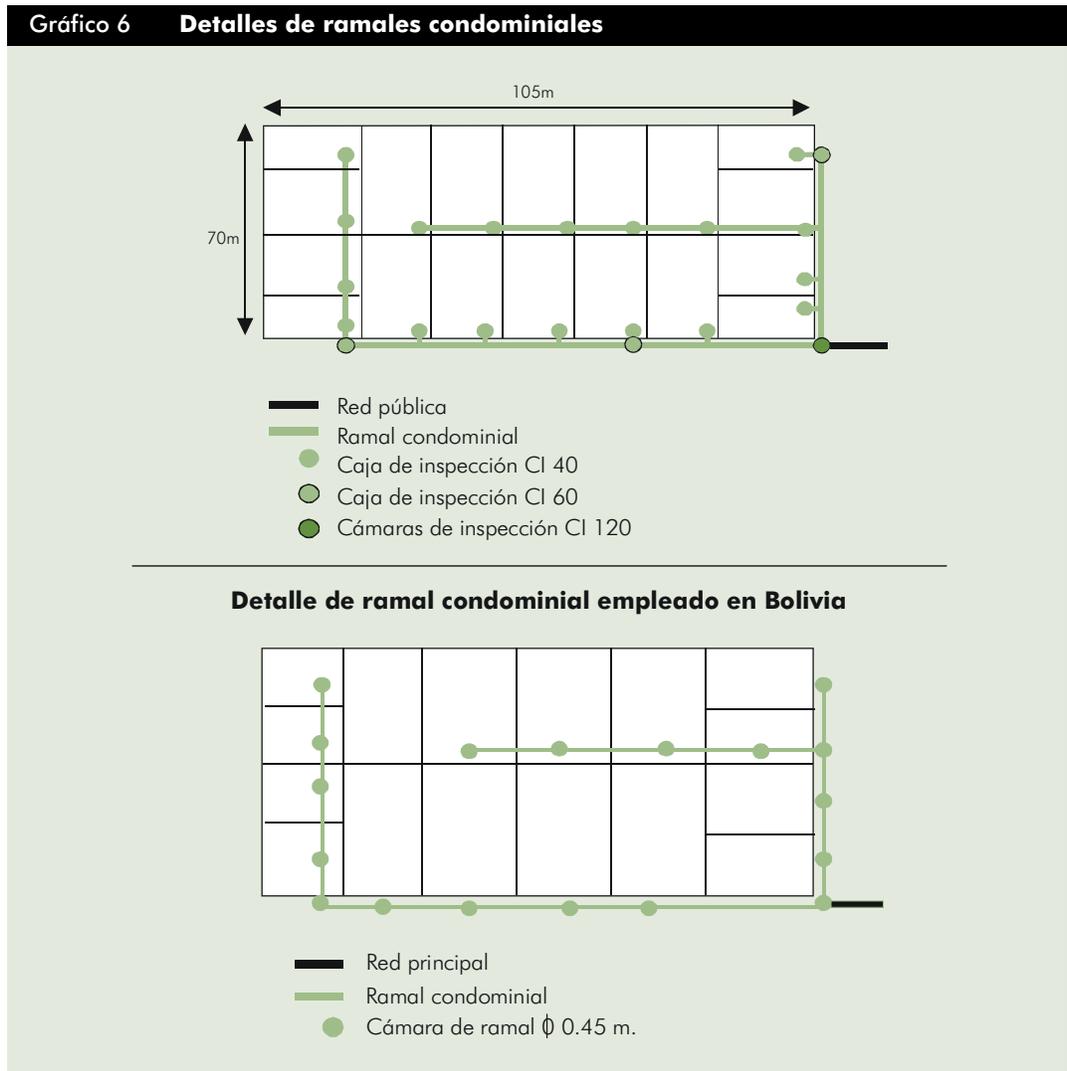
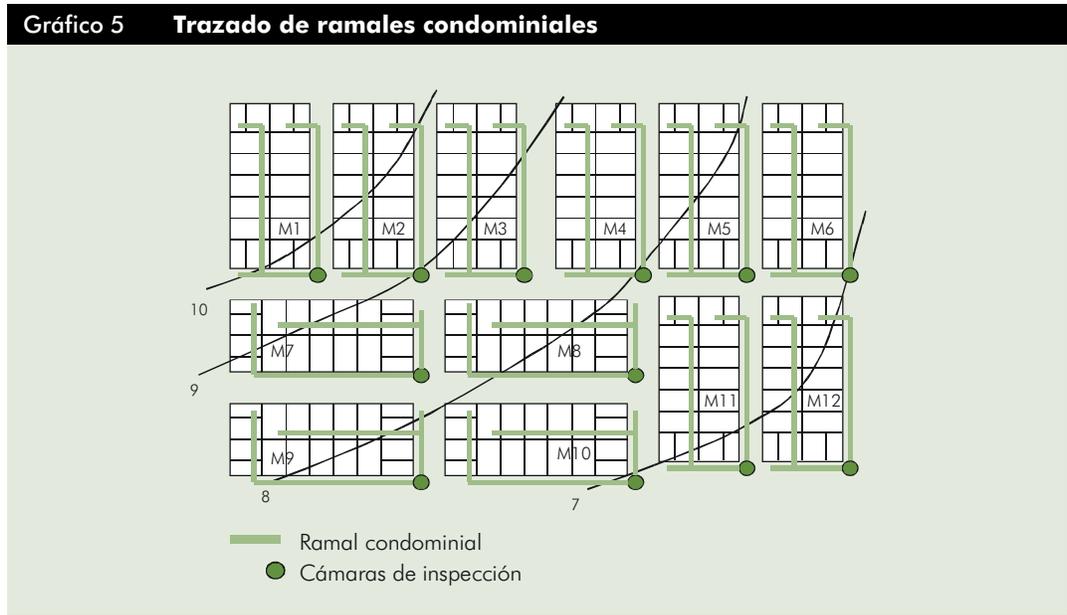
- Número de manzana.
- Número de ramales.
- Longitud prevista para cada ramal.
- Número de conexiones en cada ramal.
- Número de habitantes atendidos por ramal.
- Número y tipo de cámaras de inspección.

Para calcular la población atendida por cada ramal, se debe tomar en cuenta que cada lote significa una conexión y puede estar habitado por más de una familia. Una vez registradas todas las manzanas, se determinará la longitud total de los ramales condominiales y la población total del área beneficiada.

En la cuantificación de otros tipos de ocupación, no residenciales, se debe proceder de la misma manera, considerando la población correspondiente a cada ocupación no residencial. En estos casos, se puede calcular directamente el caudal de contribución de cada ocupación, sin que sea necesario el cálculo total de la población.

**Gráfico 4 Opciones de trazado seleccionado (Red pública)**





El siguiente cuadro resume la información de los ramales condominiales:

<b>Cuadro 10 Información de los ramales condominiales</b>					
<b>Manzana número</b>	<b>Extensión del ramal condominial</b>	<b>Número de conexiones</b>	<b>Población de contribución estimada (hab.)</b>	<b>Número de elementos de inspección CI 0.40 m</b>	<b>Número de elementos de inspección CI 0.60 m</b>
M1	265 m	18	99	17	4
M2	265 m	18	99	17	4
M3	265 m	18	99	17	4
M4	265 m	18	99	17	4
M5	265 m	18	99	17	4
M6	265 m	18	99	17	4
M7	250 m	18	99	17	4
M8	250 m	18	99	17	4
M9	250 m	18	594	17	4
M10	250 m	18	594	17	4
M11	265 m	18	180	17	4
M12	265 m	18	180	17	4
<b>Total</b>	<b>3120 m</b>	<b>216</b>	<b>2340</b>	<b>204</b>	<b>48</b>

Además, se debe incluir información de los accesorios “TE” o “YE” de conexión que requieren los domicilios o, en su caso, cámaras de interconexión.

## 5. Cámaras de inspección

Las cámaras de inspección forman parte de la red de alcantarillado y tienen el objetivo de permitir el acceso para el mantenimiento. Además, representan un componente vulnerable del sistema, ya que a través de ellas pueden ingresar elementos inapropiados y causar obstrucciones. Por este motivo se deberá proyectar la cantidad mínima necesaria de cámaras de inspección.

### 5.1 Tipos de cámaras de inspección y ubicación

Las cámaras de inspección se construyen en mampostería de ladrillo, mampostería de piedra, hormigón simple y armado, hormigón ciclópeo y PVC.

Los elementos de inspección serán principalmente de dos tipos:

**Caja de inspección.-** Se ubicará en el ramal condominial, de preferencia en un área protegi-

da. Tendrá dimensiones reducidas y poca profundidad.

**Cámara de inspección.-** Debe ser ubicada en la red pública. Su diseño atenderá las recomendaciones y normas técnicas vigentes en el país donde se ejecuta el proyecto.<sup>4</sup>

En el cuadro 11 se presentan las dimensiones recomendables de cámaras, según la profundidad de instalación de la tubería y el tipo de red.

### 5.2 Cámaras de inspección de hormigón prefabricado

Generalmente, las cámaras de inspección son construidas en el sitio, pero debido a las ventajas de manipuleo y montaje, el proyectista deberá analizar la posibilidad de utilizar “cajas de inspección” y “cámaras de inspección” con elementos prefabricados de hormigón simple y/o armado (base, anillos y tapa).

Cuadro 11 Dimensiones recomendadas de cámaras de inspección			
Profundidad de la tubería (solera) (m)	Tipo de cámara	Dimensiones del acceso diámetro (m)	Tipo de red
< 0.90	Caja (CI 40)	0.40	Ramal
0.90 a 1.20	Caja (CI 60)	0.60	Ramal
> 1.20	Cámara (CI 120)	1.20 con chimenea	Red pública

<sup>4</sup> Para Bolivia, véase los numerales 4.5.4, 4.5.5, 4.5.8, 4.5.9 y 4.5.10 – Capítulo II de la Norma Boliviana NB 688.

Las cámaras de la red pública ubicadas en áreas de tráfico sujetas a carga vehicular deben contar con el diseño estructural y prever el equipo especial para transporte y montaje.

Para los casos citados, se presentan las cámaras de inspección típicas de hormigón prefabricado, en los gráficos 7 y 8.

### **5.3 Cámaras de inspección de PVC**

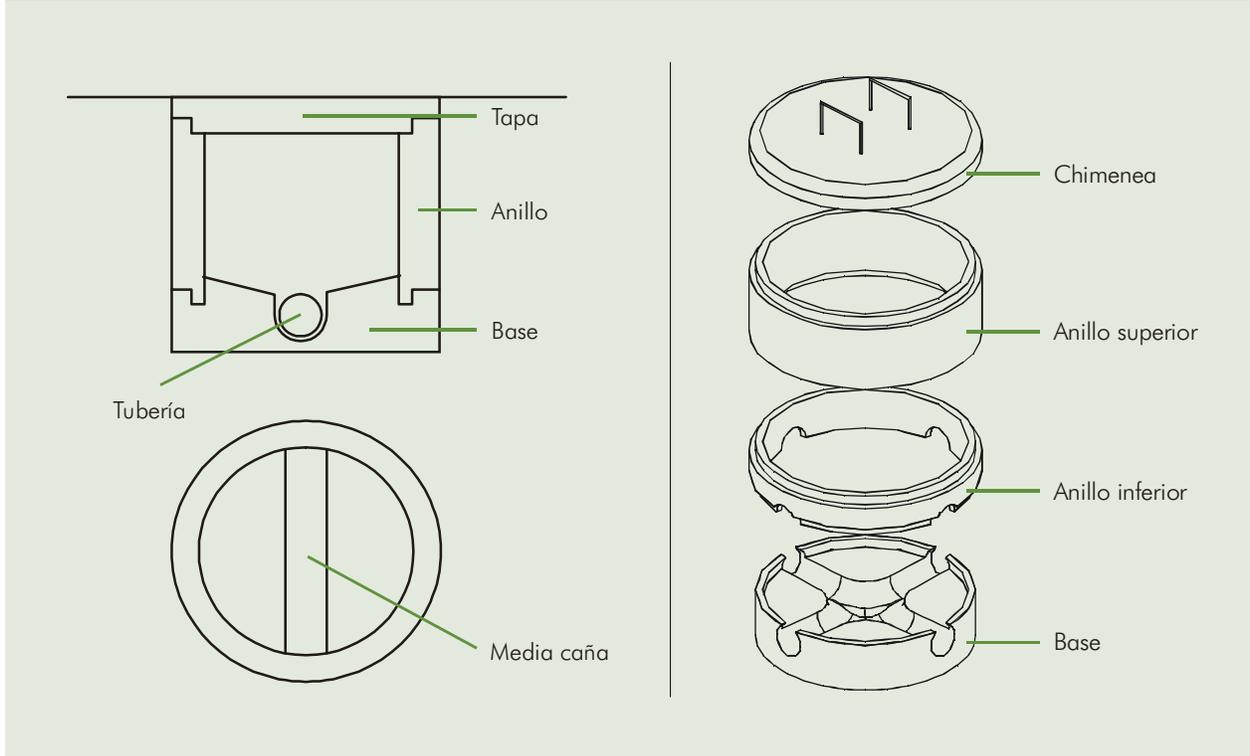
El proyectista deberá considerar el diseño de sistemas de alcantarillado condominial totalmente de plástico, mediante el uso de tuberías, accesorios y cámaras de inspección de PVC. Esta opción podrá tener ventajas técnicas y económicas frente a los elementos de hormigón, especialmente en ramales condominiales y en la conexión domiciliaria, según se describe más adelante.

Las cámaras de inspección de PVC que podrán ser utilizadas se denominan CI PVC 40, tienen un diámetro de 0.40 m y el acceso a la red se realiza a través de un tubo vertical de profundidad variable de 0.10 a 0.20 m de diámetro. Debido a esta característica, el proyectista deberá adquirir un equipo sencillo de limpieza con agua a presión, para fines de mantenimiento.

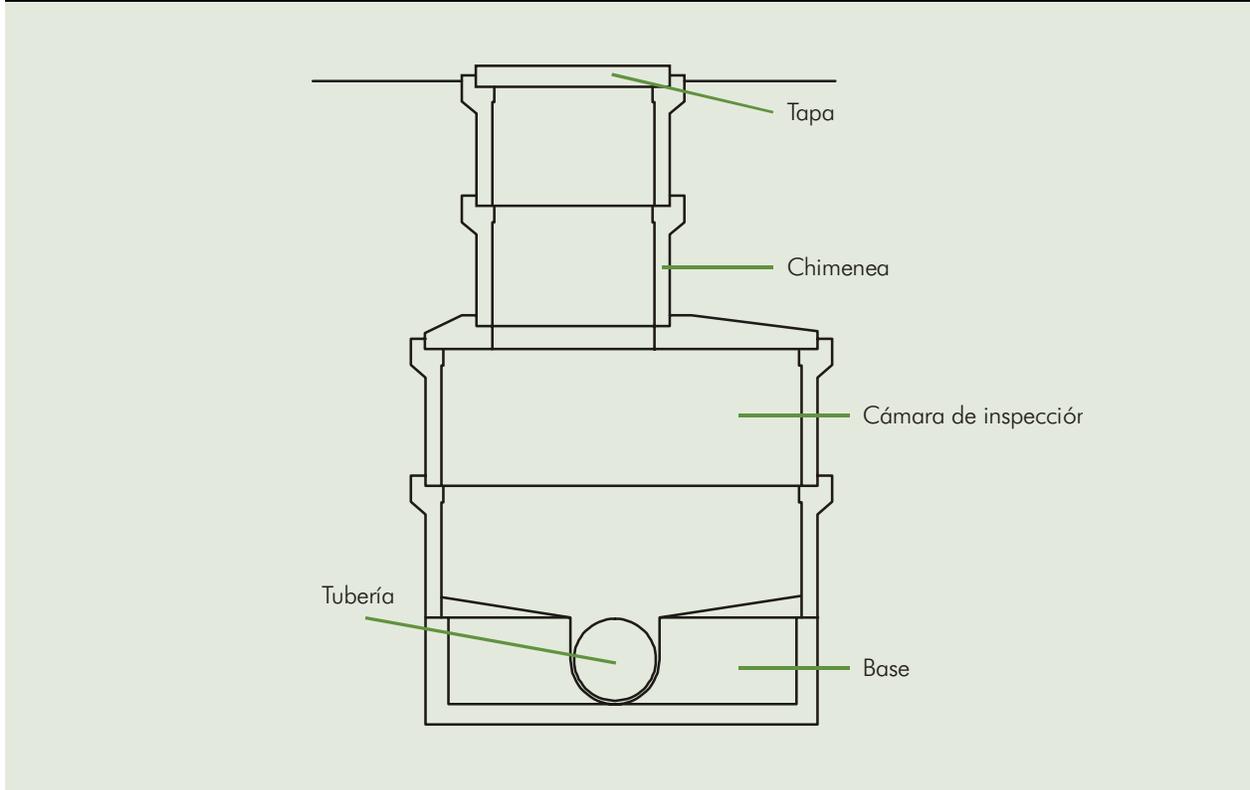
Además, habrá que considerar las ventajas de estanqueidad, fácil interconexión y funcionamiento hidráulico, ya que la "base" de la cámara, tiene las opciones de flujo directo, contribución izquierda y derecha, que pueden ser usadas cortando la extensión cerrada correspondiente.

Una desventaja que debe ser tomada en cuenta es la fragilidad de las cámaras de PVC frente al hormigón, motivo por el cual deberán contar con la protección adecuada.

**Gráfico 7** Cámara de inspección tipo en ramal condominial (prefabricada)



**Gráfico 8** Cámara de inspección tipo en red pública



## 6. Conexiones al ramal condominial

El proyectista debe definir el tipo de conexión de la vivienda al ramal condominial según su ubicación, dentro o fuera del lote.

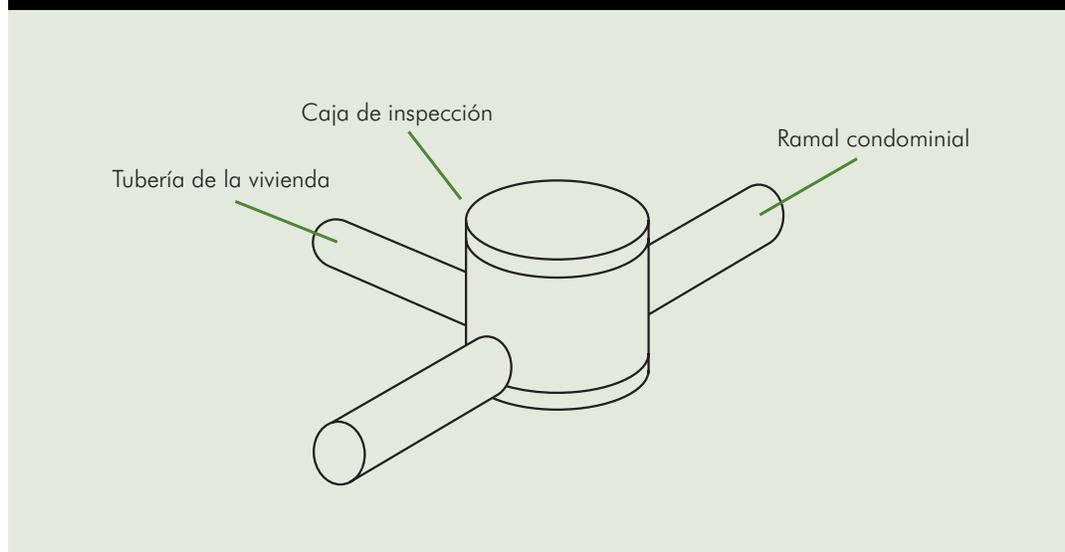
### 6.1 Conexión dentro del lote

Si el ramal condominial se encuentra dentro del lote, la conexión de la vivienda se realizará mediante una “caja de inspección”, usualmente del

tipo CI 40 de hormigón o CI PVC 40, según se indica en el gráfico 9.

La caja de inspección debe ser instalada durante la construcción del ramal condominial, una en cada lote o vivienda. El usuario será responsable de la conexión de sus instalaciones intradomiciliarias, una vez que el sistema se encuentre concluido y próximo al inicio de funcionamiento.

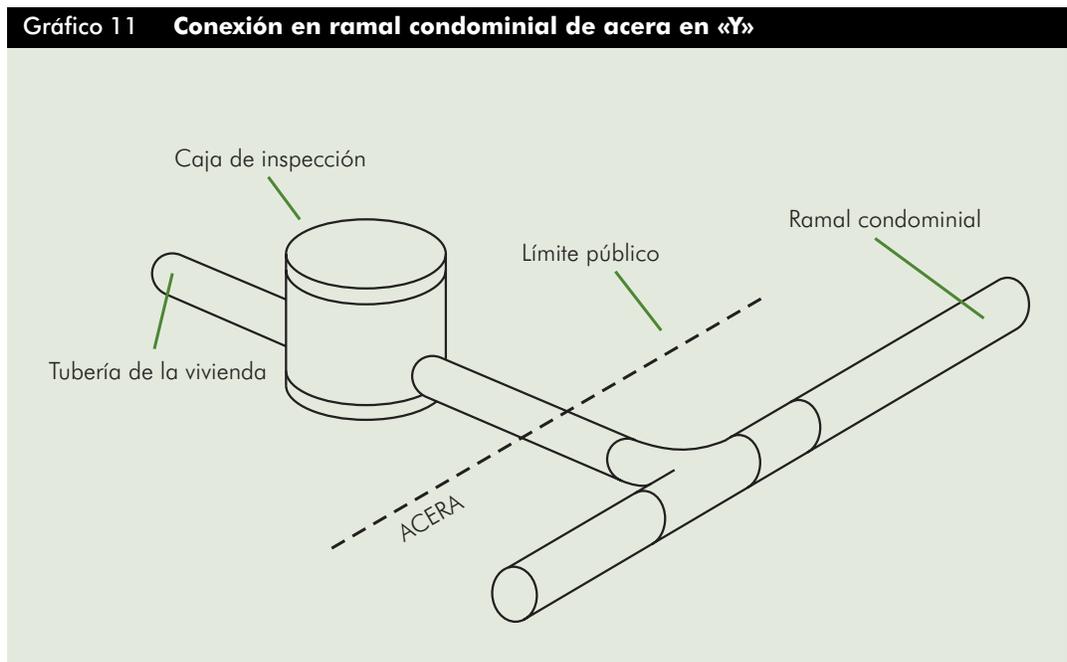
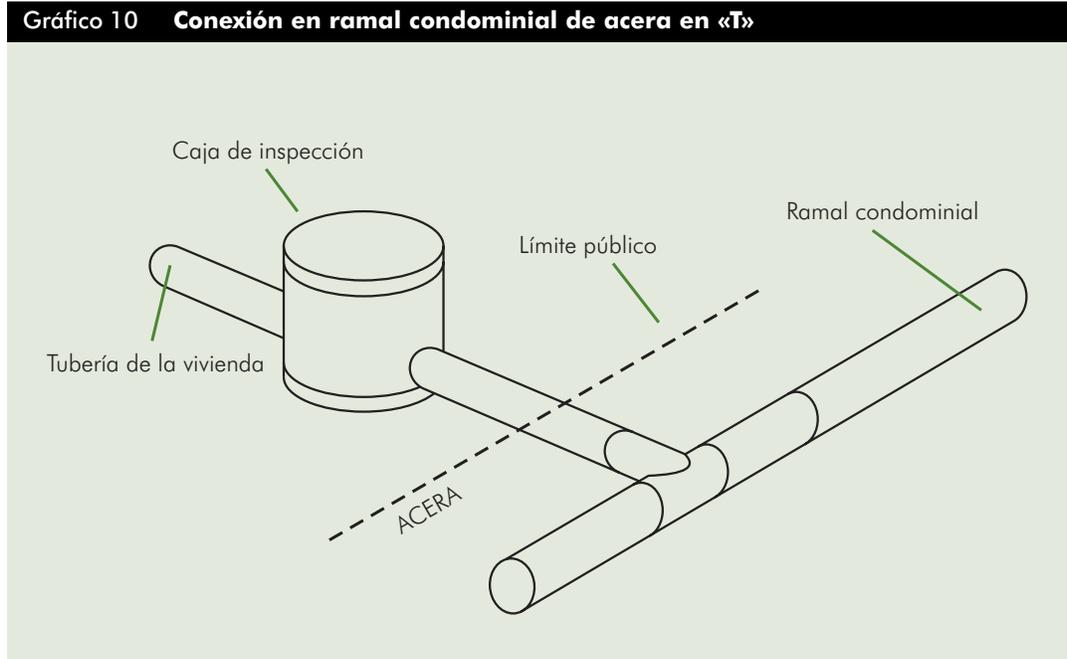
Gráfico 9 Conexión en ramal condominial dentro del lote



### 6.2 Conexión fuera del lote

Si el ramal condominial se encuentra fuera del lote (acera), la conexión de la vivienda se realizará mediante un accesorio de PVC tipo "T", "Y" o una "Silleta". El accesorio de PVC será

conectado mediante una tubería corta a la caja de inspección tipo CI 40 o CI PVC 40, que estará ubicada dentro del lote, en una zona más protegida y próxima al límite público, como se puede apreciar en los gráficos 10 y 11.



## 7. Actividades previas al cálculo hidráulico - red pública

Como parte del proceso de diseño de una red de alcantarillado sanitario, y previo al cálculo hidráulico de la red pública, se debe realizar una serie de análisis y actividades que servirán de apoyo a dicho cálculo. Se da a continuación una breve descripción de estas.

### a) Pendiente mínima

Conforme a lo establecido (en el numeral 3.3.1 del presente Manual de diseño y construcción y la Norma boliviana NB 688), previo al cálculo hidráulico debe ser predeterminada la pendiente mínima para cada diámetro, de acuerdo a la relación de caudales de la etapa inicial y la capacidad de la tubería para conducir el caudal de diseño futuro ( $Q_{\text{mit}}/Q_{\text{II}} = 0,15$ ).

### b) Trazado de ejes

Los ejes de la red pública deben ser trazados por el centro de las calles, cuidando que se intercepten en un mismo punto. Además, se debe analizar la posibilidad de ubicar la tubería en áreas más protegidas y a menor profundidad.

### c) Medición de longitudes

Se medirán las distancias entre cruceo y cruceo (intersección de calles).

### d) Ubicación de cámaras de inspección

Las cámaras de inspección serán ubicadas en los arranques de red, cambios de dirección y pendiente. Las distancias máximas entre cámara

y cámara estarán en función de los equipos de limpieza previstos y disponibles.

### e) Áreas tributarias

Los caudales para el diseño de cada tramo serán obtenidos en función a su área tributaria. Para la delimitación de áreas se tomará en cuenta el trazado de colectores, asignando áreas proporcionales de acuerdo a las figuras geométricas que el trazado configura, la unidad de medida será la hectárea (Ha).

El caudal de diseño será el que resulte de multiplicar el caudal unitario (l / s / Ha) por su área correspondiente.

El tramo podrá recibir caudales adicionales de aporte no doméstico (industria, comercio y público) como descarga concentrada.

### f) Numeración de cámaras de inspección

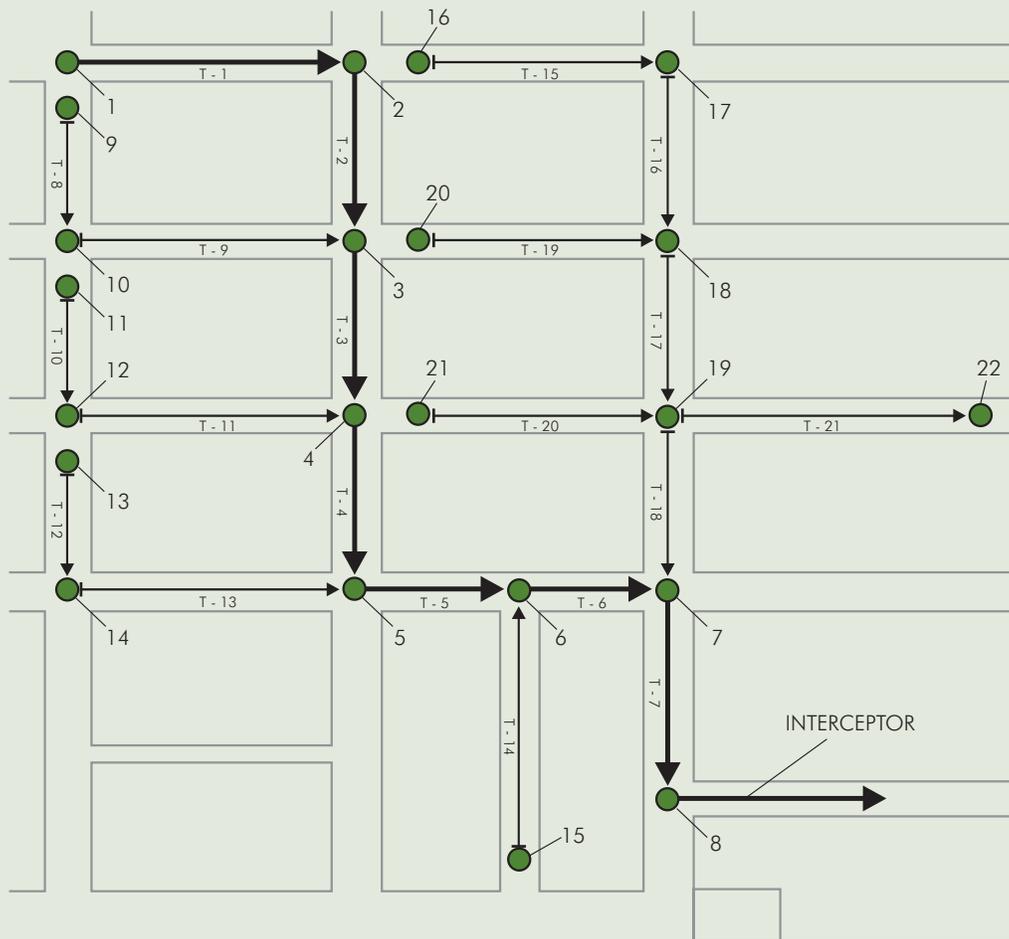
Las cámaras de inspección serán numeradas a partir de aguas arriba hacia aguas abajo.

En el ejemplo del gráfico 12, la numeración de las cámaras se inicia con el colector principal, o interceptor, en el sentido de flujo desde el punto de cota más elevada (1) hasta la cota más baja (8). Además, cada tramo recibe su correspondiente numeración (T1 a T7).

### g) Determinación de las cotas de terreno

Dependiendo de la topografía de la zona del proyecto, y de acuerdo con las curvas de nivel, se determinarán cada una de las cotas de terreno correspondientes a cada una de las cámaras de inspección.

Gráfico 12 Numeración de cámaras de inspección (Ejemplo de cálculo hidráulico)



## 8. Cálculo hidráulico

---

El proyectista desarrollará el cálculo hidráulico del sistema a partir de los datos básicos del proyecto indicados anteriormente.

Para esto, hará uso de la planilla de cálculo, según el modelo que se presenta en el ejemplo de cálculo (página 36 y siguientes).

En primera instancia, el cálculo hidráulico de la red se realizará para la condición más desfavorable de instalación, que se dará con el trazado de la red pública por el centro de la calle, con ramales por las aceras y cuando los arranques de los colectores se encuentren a mayor profundidad.

La profundidad de instalación dependerá además del tipo de suelo, determinado en el estudio geotécnico, del material de la tubería a ser implementado y de la factibilidad de las conexiones domiciliarias.

El diámetro mínimo de los colectores de alcantarillado sanitario es de 100 mm (4").

Los colectores serán instalados con una pendiente mínima de 6.68 o/oo (por mil), a fin de garantizar la condición de autolimpieza desde el inicio de funcionamiento del sistema. Este diámetro será incrementado en función al requerimiento de los caudales de aporte.

Durante la fase de los estudios de pre-inversión, la comunidad deberá intervenir en la definición del trazado de los ramales condominiales y, con el asesoramiento técnico-social debido, deberá seleccionar la alternativa constructiva de los mismos. El diseño podrá ser ajustado a partir de los puntos de arranque de los ramales condominiales, pero no podrá ser modificado el trazado, diámetro, profundidad y la pendiente de la red pública.

Posteriormente, durante la fase de construcción, el contratista deberá efectuar el replanteo correspondiente y definir la ubicación y cota exacta de las cámaras en los ramales condominiales.



## Anexo 1

### EJEMPLO DE CÁLCULO HIDRÁULICO

A manera de guía y orientación a ingenieros proyectistas que tienen que ver con el diseño de sistemas condominiales de alcantarillado sanitario, se ha desarrollado un ejemplo de cálculo hidráulico que pretende aplicar en forma sintética los conceptos y criterios de diseño explicados anteriormente.

Para fines del ejemplo se ha tomado la información básica de un sector de una urbanización existente (véase gráfico 12, página 33).

#### 1. Estudios básicos

La aplicación del modelo condominial de alcantarillado sanitario requiere desarrollar una metodología de implantación técnica y social. Como parte de la metodología y previo al cálculo hidráulico, el proyectista deberá realizar los estudios básicos indicados en los numerales 1.1 al 1.8 del presente manual, referidos a:

- Características del área seleccionada.
- Estudio de los recursos hídricos y calidad de agua para consumo humano.
- Estudio topográfico.
- Estudio geotécnico.
- Información sobre el plan maestro de desarrollo urbano.
- Descripción y diagnóstico del sistema de agua potable existente.
- Descripción y diagnóstico del sistema de alcantarillado sanitario existente.
- Características socioeconómicas de la población en estudio.

En el presente caso, y para fines de aplicación práctica, los estudios mencionados se consideran realizados y solamente se trata el diseño hidráulico de las redes.

## 2. Parámetros de diseño

Conforme a los numerales 2.1 al 2.9 de este manual, en el siguiente cuadro se presenta el resumen de los parámetros que fueron utilizados.

No.	PARÁMETROS DE DISEÑO	UNIDAD	VALOR
1	Periodo de diseño	año	20
2	Población actual	hab.	2,043
3	Población futura o servida	hab.	3,481
4	Tasa de crecimiento de población (variable)	%	3.3 – 2.0
5	Lotes habitados (según censo)	No.	396
6	Área tributaria total del barrio (c/vías) – (A)	Ha.	24.7
7	Densidad actual (Di)	hab/ha	82.71
8	Densidad futura (Df)	hab/ha	140.93
9	Número de conexiones de agua	No.	396
10	Número de habitantes por conexión	Hab/conex	5.16
11	Consumo doméstico(s/ registros del operador)	m3/conex/mes	16.23
12	Consumo comercial	-	-
13	Consumo industrial	-	-
14	Dotación actual con servicio de agua ( $D_a$ )	l/h/día	105
15	Dotación prevista con alcantarillado ( $D_{alc.}$ )	l/h/día	125
16	Coefficiente de retorno (c)	%	70
17	Coefficiente de punta: $M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P_f}}$	factor	3.39
18	Coefficiente por conexiones erradas (ce)	%	10
19	Coefficiente de infiltración (Qi) (PVC)	l/s/m	0.0001
20	Longitud total red de colectores proyectada	m.	6,155
21	Profundidad del nivel freático	m.	1.90
22	Material de la tubería	PVC	SDR 35 y 41
23	Módulo de elasticidad de la tubería	Kg/cm2	28,100
24	Peso específico del suelo de relleno	kg/m3	1,817
25	Peso por eje (carga vehicular) – h10	Kg	9,060
26	Módulo de elasticidad del suelo (relleno)	Kg/cm2	0.0
27	Tipo del suelo	A6	-
28	Límite líquido (Il)	< 50	-
29	Angulo de fricción interna	< 30°	-
30	Recubrimiento según cálculo estructural (calle)	m.	0.85
31	Recubrimiento en acera (c/ protección en cruces)	m.	0.35
32	Recubrimiento en interior de lote	m.	0.30

### 3. Cuantificación de caudales de aporte doméstico

a) Caudal Medio Diario ( $Q_m$ )

$$Q_m = \frac{D_{alc.} * P_f * C}{86,400} = \frac{125 * 3,481 * 0.70}{86,400} = 3.53 l/s$$

b) Caudal Máximo Horario ( $Q_{max}$ )

$$Q_{max} = Q_m * M = 3.53 * 3.39 = 11.97 l/s$$

c) Caudal Máximo Unitario Doméstico por Área

$$q_u = \frac{Q_{max}}{A} = \frac{11.97}{24.7} = 0.48 l/sHa$$

### 4. Caudal por infiltración ( $Q_i$ )

$$Q_i = 0.0001 l/sm * 6,155 m = 0.62 l/s$$

### 5. Caudal por conexiones erradas ( $Q_e$ )

$$Q_e = 10\% * Q_{max} = 0.10 * 11.97 = 1.20 l/s$$

### 6. Caudal máximo de diseño ( $Q_d$ )

El caudal máximo de diseño incorpora los caudales de infiltración y por conexiones erradas.

$$Q_d = Q_{max} + Q_i + Q_e = 11.97 + 0.62 + 1.20 = 13.79 l/s$$

### 7. Criterios de diseño

7.1 Verificación de la relación de caudales: presente y futuro

a) Caudal medio presente (doméstico) ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{D * P_i * C}{86,400} = \frac{125 * 2,041 * 0.70}{86,400} = 2.07 l/s$$

b) Capacidad de la tubería (tramo final)

Con el caudal de aporte máximo de diseño  $Q_d = 13.79 l/s$ , ubicamos en el cuadro 6 el diámetro de la tubería necesaria, y corresponde a 0.20 m (8"), la cual tiene una capacidad para conducir:

$$Q_{II} = 18.96 l/s$$

Se verifica que la relación de caudal presente y futuro es:

$$\frac{Q_p}{Q_{II}} = \frac{2.07}{18.96} = 0.11 \quad (11\%)$$

Para determinar las pendientes mínimas, y previo al cálculo hidráulico, se adoptó una relación de caudales de:  $\frac{Q_p}{Q_{II}} = 0.15$  (15%), que fue aplicada a todos los tramos de la red.

$$\frac{Q_p}{Q_{II}} = 0.15$$

### 7.2 Tensión tractiva

Tensión tractiva mínima:  $t_{min} = 1 \text{ (Pa)}$

### 7.3 Pendiente mínima

La pendiente mínima para la relación de caudales  $Q_p/Q_{II} = 0.15$  y la tensión tractiva mínima 1 Pa y para diferentes diámetros de los colectores, tiene la siguiente expresión:

$$S_{min} = \frac{t_{min}}{gR_p} = \frac{t_{min}}{rg \cdot 0.1525D}$$

En el cuadro A1, se presenta la pendiente mínima, velocidad y caudal a sección llena, utilizados en el cálculo hidráulico.

**Cuadro A1 - Pendientes mínimas**

Diámetro	Pendiente mínima ( $S_{min}$ )	Sección Llena	
		Velocidad	Caudal
m	o/oo	m/s	l/s
0.10	6.68	0.54	4.22
0.15	4.46	0.58	10.17
0.20	3.34	0.60	18.96

Pendiente obtenida para los siguientes valores:

$$Q_p/Q_{II} = 0.15 \quad R/D = 0.1525 \quad t_{min} = 1 \text{ Pa}$$

$$r = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad n = 0,013$$

### 7.4 Trazado de redes y recubrimiento mínimo

En el plano topográfico de la urbanización (Gráfico 12), se procedió al trazado de la red pública por el centro de la calle y los ramales condominiales por las aceras. El recubrimiento mínimo fue definido según el tipo de material (PVC), el cálculo estructural, la carga vehicular y datos del estudio geotécnico, habiendo determinado un recubrimiento mínimo de 0.85 m.

## 8. Cuantificación de áreas de aporte

Con la planimetría y el apoyo del autocad, se procedió con la cuantificación de áreas de aporte por tramo.

## 9. Cálculo hidráulico

El cálculo hidráulico fue realizado mediante la planilla de cálculo que se adjunta, con la siguiente descripción:

Columna 1 - 2	Numeración de cámaras de inspección.
Columna 3	Identificación del área propia del tramo.
Columna 4	Área de aporte propia, A (Ha).
Columna 5	Área de aporte acumulada, A (Ha).
Columna 6	Caudal unitario doméstico ( $q_u = 0.48$ l/s Ha).
Columna 7	Caudal propio, agua residual doméstica, l/s (col.4 x col.6).
Columna 8	Caudal acumulado, agua residual doméstica, l/s.
Columna 9	Caudal propio, conexiones erradas, l/s ( $Q_e = 10\% \times \text{col.7}$ ).
Columna 10	Caudal acumulado, conexiones erradas, l/s.
Columna 11	Caudal propio de infiltración, l/s ( $Q_i = 0.0001$ l/s m x col.18)
Columna 12	Caudal acumulado de infiltración, l/s.
Columna 13	Caudal máximo de diseño, l/s ( $Q_{\max} = \text{col: } 8 + 10 + 12$ )
Columna 14	Cota terreno inicial.
Columna 15	Cota terreno final.
Columna 16	Cota solera inicial.
Columna 17	Cota solera final.
Columna 18	Longitud del tramo.
Columna 19	Pendiente del conducto, en miles (se adopta la pendiente del terreno en el caso que sea mayor a la mínima: cuadro 1)
Columna 20	Diámetro del conducto (cuadro 1)
Columna 21	Capacidad de la tubería a sección llena (cuadro 1)
Columna 22	Velocidad a sección llena (cuadro 1)
Columna 23	Relación de caudales (col.13 / col. 21)
Columna 24	Velocidad real (con col. 23, y las propiedades hidráulicas de la sección circular)
Columna 25	Relación de tirantes (con col. 23 y las propiedades hidráulicas de la sección circular)
Columna 26	Tensión tractiva, Pa (con col. 23, propiedades hidráulicas y fórmula de la tensión tractiva). Se verifican valores superiores a 0.6 Pa requeridos por la Norma Boliviana.

**Alcantarillado sanitario - Ejemplo de planilla de cálculo hidráulico  
Trazado de red pública por centro de calle (Recubrimiento Mínimo de Arranque = 0.85 m)**

Cámara		Identificación del área propia		C A U D A L E S												D I S E Ñ O												CONDICIONES DE FLUJO			
De	A	Propia		Máxima Agua Residual Doméstica		Conexiones Erráticas		Infiltración		Caudal		Terreno		Solera		Longitud		Pendiente del Conducto		Diámetro		Sección Plena		Relación de Caudal		Velocidad real		Relación de Tirante		Tensión Tractiva	
Nº	Nº	Tramo	Ha	qu	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	l/s	m	o/oo	m	m	l/s	m/s	Op/Col	Vp	h/D	Pa	Op/Col	Vp	h/D	Pa	
1	2																														
1	2	T.1	0.27	0.48	0.13	0.13	0.013	0.011	0.011	0.011	0.15	275.20	275.05	274.25	274.25	110.8	7.22	0.10	0.10	4.4	0.56	0.034	0.26	0.13	0.6	0.034	0.26	0.13	0.6	0.6	
2	3	T.2	0.26	0.52	0.12	0.25	0.012	0.007	0.018	0.29	275.20	274.67	274.25	273.72	71.2	7.44	0.10	0.10	4.5	0.57	0.066	0.32	0.18	0.78	0.066	0.32	0.18	0.78	0.78		
3	4	T.3	0.34	0.48	0.16	0.016	0.008	0.008	0.008	0.85	274.67	274.35	273.68	273.14	81.0	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.202	0.42	0.31	1.15	0.202	0.42	0.31	1.15	1.15		
4	5	T.4	0.21	0.48	0.10	0.010	0.006	0.006	0.006	1.28	274.35	273.94	273.11	272.68	64.4	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.304	0.47	0.38	1.35	0.304	0.47	0.38	1.35	1.35		
5	6	T.5	0.27	0.48	0.13	0.013	0.007	0.007	0.007	1.85	273.94	274.48	272.68	272.23	66.7	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.438	0.52	0.46	1.56	0.438	0.52	0.46	1.56	1.56		
6	7	T.6	0.26	0.48	0.13	0.013	0.006	0.006	0.006	2.34	274.48	273.68	272.23	271.80	84.8	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.553	0.56	0.56	1.76	0.553	0.56	0.56	1.76	1.76		
7	8	T.7	0.42	0.48	0.20	0.020	0.009	0.009	0.009	4.05	273.68	273.42	271.80	271.41	86.9	4.46	0.15	0.15	10.2	0.58	0.388	0.55	0.46	1.55	0.388	0.55	0.46	1.55	1.55		
8	9	T.8	0.13	0.48	0.06	0.006	0.005	0.005	0.005	0.07	275.00	275.37	275.05	274.42	53.2	11.84	0.10	0.10	5.6	0.72	0.013	0.25	0.08	0.60	0.013	0.25	0.08	0.60	0.60		
9	10	T.9	0.55	0.68	0.26	0.026	0.033	0.011	0.016	0.37	275.37	274.67	274.42	273.68	110.90	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.089	0.35	0.22	0.86	0.089	0.35	0.22	0.86	0.86		
10	11	T.10	0.15	0.48	0.07	0.007	0.007	0.006	0.006	0.09	275.37	275.03	274.42	273.85	63.2	9.00	0.10	0.10	4.9	0.62	0.018	0.24	0.09	0.6	0.018	0.24	0.09	0.6	0.6		
11	12	T.11	0.54	0.69	0.26	0.026	0.033	0.011	0.017	0.38	275.03	274.35	273.85	273.11	111.1	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.080	0.34	0.21	0.81	0.080	0.34	0.21	0.81	0.81		
12	13	T.12	0.11	0.48	0.05	0.005	0.005	0.004	0.004	0.06	275.03	274.65	274.08	273.59	44.7	11.00	0.10	0.10	5.4	0.69	0.012	0.23	0.08	0.6	0.012	0.23	0.08	0.6	0.6		
13	14	T.13	0.52	0.63	0.25	0.025	0.030	0.011	0.016	0.35	274.65	273.94	273.59	272.85	111.0	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.082	0.32	0.19	0.77	0.082	0.32	0.19	0.77	0.77		
14	15	T.14	0.63	0.63	0.30	0.030	0.030	0.011	0.011	0.34	274.44	274.48	273.49	272.74	112.22	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.081	0.32	0.19	0.77	0.081	0.32	0.19	0.77	0.77		
15	16	T.15	0.35	0.48	0.17	0.017	0.017	0.012	0.012	0.20	275.20	274.94	274.25	273.47	117.11	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.047	0.28	0.16	0.63	0.047	0.28	0.16	0.63	0.63		
16	17	T.16	0.29	0.64	0.14	0.014	0.008	0.008	0.008	0.36	274.94	274.48	273.47	272.97	75.0	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.084	0.33	0.20	0.79	0.084	0.33	0.20	0.79	0.79		
17	18	T.17	0.30	0.48	0.15	0.015	0.008	0.008	0.008	0.92	274.48	273.90	272.93	272.35	78.0	7.44	0.10	0.10	4.5	0.57	0.206	0.45	0.31	1.28	0.206	0.45	0.31	1.28	1.28		
18	19	T.18	0.23	0.48	0.11	0.011	0.007	0.007	0.007	0.39	274.67	274.48	273.72	272.93	118.7	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.093	0.35	0.22	0.85	0.093	0.35	0.22	0.85	0.85		
19	20	T.19	0.36	0.48	0.17	0.017	0.017	0.011	0.011	0.20	274.35	273.90	273.40	272.64	114.1	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.048	0.28	0.15	0.61	0.048	0.28	0.15	0.61	0.61		
20	21	T.20	0.36	0.48	0.17	0.017	0.017	0.011	0.011	0.20	274.35	273.90	273.40	272.64	114.1	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.048	0.28	0.15	0.61	0.048	0.28	0.15	0.61	0.61		
21	22	T.21	0.42	0.42	0.20	0.020	0.020	0.013	0.013	0.23	274.39	273.90	273.44	272.58	128.5	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.055	0.30	0.17	0.68	0.055	0.30	0.17	0.68	0.68		
22	23	T.22	0.42	0.48	0.20	0.020	0.020	0.013	0.013	0.23	274.39	273.90	273.44	272.58	128.5	6.68	0.10	0.10	4.2	0.54	0.055	0.30	0.17	0.68	0.055	0.30	0.17	0.68	0.68		

**OBSERVACIONES**

O. Unitario (qu) 0.48  
 Oe=10% qu\*A 0.1  
 Qi= l/s km 0.1  
 Criterios de Diseño

Fl = 1 Pa

Op/Col=0.15 (al inicio proy.)

Diam. Mínimo = 0.10 m.

## Anexo 2

### Características del área de proyecto - Formulario de referencia

Información	Área I	Área II	Área III
<p>Área (Ha)</p> <p>Población actual – habitantes.</p> <p>Población futura – habitantes.</p> <p>Dotación de agua potable l / hab / d</p> <p>Número esperado de conexiones</p> <p>¿Forma parte del área urbana regular?</p> <p>¿Tiene la densidad adecuada? 60 –70 % hab / Ha</p> <p>¿Cuál es el nivel de ingresos predominante?</p> <p>¿Tiene potencial para la participación de la comunidad?</p> <p>¿Está disponible el plan de la urbanización formal?</p> <p>¿Corresponde a la ocupación real del plano de la ciudad?</p> <p>¿Los bloques de manzanas están bien definidos?</p> <p>¿Hay voluntad de pago para la cuota de conexión?</p> <p>¿Hay voluntad de pago para la tarifa?</p> <p>¿Cuál es la situación de saneamiento?</p> <p>¿Existe área disponible para el tratamiento?</p> <p>¿El nivel de tratamiento requerido es elevado?</p> <p>¿Hay drenaje disponible?</p> <p>¿La cuenca recibe caudales de aguas arriba?</p> <p>¿Hay recolección de basura?</p> <p>¿Hay basura en las calles?</p> <p>¿Demandan una solución de saneamiento?</p>			

