



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA  
INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

**Juan José Samayoa Monzón**

Asesorado por el Ing. Hugo Dagoberto Vásquez y Vásquez

Guatemala, octubre de 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA  
INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JUAN JOSÉ SAMAYOA MONZÓN**

ASESORADO POR EL ING. HUGO DAGOBERTO VÁSQUEZ Y VÁSQUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|            |  |
|------------|--|
| DECANO     | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco     |
| VOCAL I    | Ing. Angel Roberto Sic García          |
| VOCAL II   | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III  | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa    |
| VOCAL IV   | Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova         |
| VOCAL V    | Br. Henry Fernando Duarte García       |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López      |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                       |
|------------|---------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos       |
| EXAMINADOR | Ing. Jeovany Rudaman Miranda Castañón |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Ramón Ordóñez Hernández     |
| EXAMINADOR | Ing. Víctor Manuel López Juárez       |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez       |



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 2 de octubre de 2012.

**Juan José Samayoa Monzón**



Guatemala, 25 de mayo de 2016

Ingeniero  
Claudio César Castañón  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

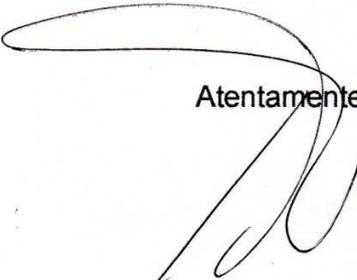
Ingeniero Castañón:

Atentamente hago de su conocimiento, que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante universitario Juan José Samayoa Monzon, titulado: **"RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA"**.

Habiéndose realizado las correcciones planteadas a dicho trabajo, considero que cumple con los requisitos exigidos para su aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Hugo Dagoberto Vásquez y Vásquez  
Asesor

HUGO DAGOBERTO VASQUEZ V.  
INGENIERO CIVIL  
COLEGIADO 1465



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
02 de septiembre de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **RECARGA DE ACUÍFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan José Samayoa Monzón, quien contó con la asesoría del Ing. Hugo Dagoberto Vásquez y Vásquez.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua  
/bbdeb.





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Hugo Dagoberto Vásquez y Vásquez y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Juan José Samayoa Monzón, titulado **RECARGA DE ACUIFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, octubre 2016

/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.D.499.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **RECARGA DE ACUIFEROS MEDIANTE INFILTRACIÓN PROVOCADA A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Juan José Samayoa Monzón** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, octubre de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

|                   |   |
|-------------------|---|
| <b>Dios</b>       | Por el don de la vida y el entendimiento para lograr en la vida una meta más. |
| <b>Mis padres</b> | Pablo Samayoa Pérez e Isabel Del Rosario Monzón Sevilla.                      |
| <b>Mis tíos</b>   | Manuel Monzón, Alicia Monzón y Ofelia Monzón.                                 |
| <b>Mi hermana</b> | Marisol Samayoa.  |



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por incentivar mis sueños que ahora son realidad.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme las herramientas necesarias para cumplir con mis objetivos.

**Mis amigos de la  
Facultad**

Por ayudarme en todo momento.

**Ing. Hugo Vásquez y  
Vásquez**

Por la colaboración desinteresada en la realización del presente trabajo.

**Empagua**

Por brindarme la información y los recursos necesarios para la realización del presente trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....  | V    |
| LISTA DE SÍMBOLOS .....   | VII  |
| GLOSARIO .....  | IX   |
| RESUMEN .....   | XIII |
| OBJETIVOS.....  | XVII |
| INTRODUCCIÓN.....   | XIX  |
| <br>  |      |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 1    |
| 1.1. Datos históricos del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guatemala, según entrevista al Ingeniero José Jorge Orellana Zúñiga. .... | 1    |
| 1.2. Datos históricos de extracción de agua subterránea en la ciudad de Guatemala .....   | 6    |
| 1.3. Historia de profundidades de perforación.....  | 6    |
| 1.4. Datos históricos de la red de alcantarillado en la ciudad de Guatemala.....  | 7    |
| 1.5. Infraestructura de la red de alcantarillado en la ciudad de Guatemala .....  | 10   |
| 1.5.1. Colectores.....  | 11   |
| 1.5.2. Pozos de visita.....   | 12   |
| 1.5.3. Conexiones domiciliarias o secundarias.....  | 13   |
| 1.5.4. Tragantes.....   | 15   |
| 1.5.5. Pozo de luz.....   | 16   |
| 1.5.6. Derivadores de caudal o reguladores de caudal.....   | 16   |
| 1.5.7. Disipador de energía .....   | 18   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 1.6.   | Clasificación de las redes de alcantarillado en la ciudad de Guatemala, según el Reglamento de diseño de drenajes y Construcción de drenajes..... | 19 |
| 1.6.1. | Zona de influencia de los grandes colectores poniente y oriente.....  | 21 |
| 1.6.2. | Sistema de drenajes de la ciudad de Guatemala ....  | 22 |
| 2.     | INFORMACIÓN GENERAL .....   | 25 |
| 2.1.   | Identificación del sector de trabajo.....   | 25 |
| 2.2.   | Localización y acceso .....   | 26 |
| 2.3.   | Topografía.....   | 30 |
| 2.4.   | Población y vivienda.....   | 32 |
| 3.     | ESTUDIOS.....   | 35 |
| 3.1.   | Calidad de agua a infiltrar .....   | 35 |
| 3.2.   | Estudio de suelo.....   | 38 |
| 3.3.   | Sistema de tratamiento de agua pluvial .....  | 47 |
| 4.     | DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA .....   | 49 |
| 4.1.   | Estudio de alternativas .....   | 49 |
| 4.2.   | Ventajas y desventajas .....  | 52 |
| 4.2.1. | Ventajas del sistema propuesto .....  | 53 |
| 4.2.2. | Desventajas del sistema propuesto.....  | 54 |
| 4.3.   | Componentes del sistema propuesto .....   | 54 |
| 4.3.1. | Tragantes .....   | 54 |
| 4.3.2. | Pozo de absorción.....  | 56 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.3.3. | Red de alcantarillado y drenaje .....          | 57 |
| 4.3.4. | Ramales principales o tuberías centrales ..... | 58 |
| 5.     | DISEÑO DEL SISTEMA .....                       | 59 |
| 5.1.   | Parámetros de diseño.....                      | 59 |
| 5.2.   | Diseño detallado .....                         | 62 |
| 5.3.   | Período de diseño .....                        | 65 |
| 5.4.   | Cálculo de caudales .....                      | 66 |
| 5.5.   | Especificaciones de construcción.....          | 67 |
| 5.6.   | Manual de operación y mantenimiento.....       | 68 |
| 6.     | CONSTRUCCIÓN .....                             | 71 |
| 6.1.   | Supervisión.....                               | 71 |
| 6.2.   | Evaluación de resultados.....                  | 79 |
|        | CONCLUSIONES .....                             | 81 |
|        | RECOMENDACIONES.....                           | 83 |
|        | BIBLIOGRAFÍA.....                              | 85 |
|        | APÉNDICE.....                                  | 87 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | Alcantarilla en 2ª avenida y 10ª calle zona 1 ..... | 2  |
| 2.  | Foto colector .....                                 | 12 |
| 3.  | Foto pozo de visita .....                           | 13 |
| 4.  | Foto conexión domiciliar .....                      | 14 |
| 5.  | Foto tragante .....                                 | 15 |
| 6.  | Foto derivador de caudal .....                      | 17 |
| 7.  | Foto dissipador de energía .....                    | 18 |
| 8.  | Foto división de cuencas.....                       | 20 |
| 9.  | Foto zona de influencia de colectores.....          | 21 |
| 10. | Foto componentes del sistema de alcantarillado..... | 23 |
| 11. | Perímetro de estudio .....                          | 28 |
| 12. | Esquema área de estudio.....                        | 29 |
| 13. | Curvas de nivel.....                                | 31 |
| 14. | Mapa geológico de Guatemala.....                    | 39 |
| 15. | Área del proyecto .....                             | 40 |
| 16. | Nomenclatura .....                                  | 40 |
| 17. | Nomenclatura de fallas geológicas.....              | 41 |
| 18. | Ensayo índice de absorción .....                    | 43 |
| 19. | Coefficiente de absorción del terreno.....          | 45 |
| 20. | Zanjas de absorción .....                           | 49 |
| 21. | Recarga de acuíferos a través de inyección.....     | 50 |
| 22. | Recarga por represas .....                          | 51 |
| 23. | Recarga por represa.....                            | 51 |
| 24. | Esquema de tragante.....                            | 55 |
| 25. | Pozo de absorción .....                             | 56 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 26. | Esquema red de alcantarillado y drenaje .....     | 57 |
| 27. | Esquema ramales principales .....                 | 58 |
| 28. | Área tributaria.....                              | 60 |
| 29. | Área de trabajo.....                              | 72 |
| 30. | Marco de madera .....                             | 73 |
| 31. | Proceso de excavación .....                       | 73 |
| 32. | Ladrillo tayuyo en soga .....                     | 74 |
| 33. | Piedrín entre pared y ladrillo .....              | 75 |
| 34. | Conexión tragante pozo de absorción. Foto 1 ..... | 76 |
| 35. | Conexión tragante pozo de absorción. Foto 2.....  | 76 |
| 36. | Tapadera pozo de absorción.....                   | 77 |
| 37. | Lugar de trabajo terminado.....                   | 78 |

## **TABLAS**

|    |  |    |
|----|--|----|
| I. | Resumen de absorción del terreno ..... | 46 |
|----|--|----|

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b> | <b>Significado</b>         |
|----------------|----------------------------|
| A              | Área                       |
| b              | Base                       |
| C              | Valor de escorrentía       |
| I              | Intensidad de lluvia       |
| h              | Altura                     |
| m              | Metro                      |
| m <sup>2</sup> | Metros cuadrados           |
| m <sup>3</sup> | Metros cúbicos             |
| mm             | Milímetro                  |
| msnm           | Metros sobre nivel del mar |
| Q              | Caudal                     |
| seg            | Segundo                    |
| V              | Volumen                    |
| Ø              | Diámetro                   |



## GLOSARIO

|                           |   |
|---------------------------|---|
| <b>Aguas pluviales</b>    | Aguas de escorrentía que provenientes de la lluvia corren a través de las zonas urbanas y sus alrededores.  |
| <b>Aguas cloacales</b>    | Desperdicios líquidos y sólidos transportados por el agua proveniente de casas de habitación, instituciones y edificios comerciales.  |
| <b>Inspección</b>         | Conjunto de actividades y procedimientos técnicos que permite definir el desarrollo de una acción. Constituye una serie de acciones de gabinete y campo, desde recopilación de información (historia del sistema, expedientes técnicos del proyecto, planos pos construcción, inspecciones previas, etc.), hasta la toma de datos en campo, a fin de conocer el estado del sistema de drenaje en un periodo de tiempo dado. |
| <b>Sistema de drenaje</b> | Es el conjunto de tuberías o conductos cerrados que normalmente trabajan como canales a través de los cuales corren, solas o combinadas, las aguas cloacales y pluviales.   |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>Cabezal de descarga</b>    | Constituye la obra de arte colocada al extremo final del colector hacia el cuerpo receptor necesario para mantener en buenas condiciones tanto la salida del colector como sus alrededores                        |
| <b>Colectores principales</b> | Son los conductos que coleccionan las aguas cloacales, pluviales o ambas, provenientes de los ramales colectores y que los conducen a plantas de tratamiento o a su disposición final en las cañadas de desfogue. |
| <b>Derivadores de caudal</b>  | Son obras diseñadas para descargar los efluentes excesivos o potencialmente perjudiciales del sistema colector hacia otros cuerpos receptores.  |
| <b>Pozos de registro</b>      | Estructuras construidas con el objeto de conectar los ramales principales con los ramales colectores, o estos con los colectores madre, y que tienen acceso desde la superficie.                                  |
| <b>Pozos de visita</b>        | Estructuras construidas con el objeto de proporcionar acceso, tanto a los ramales principales como a los colectores, con el propósito de inspeccionarlos y limpiarlos.  |
| <b>Ramales colectores</b>     | Son los conductores que recolectan las aguas cloacales, pluviales o ambas, proveniente de los ramales principales, los cuales generalmente están situados a mayor profundidad que estos.                          |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Aguas de infiltración</b> | Aguas subterráneas que se infiltran al sistema de drenaje.   |
| <b>Nivel freático</b>        | Es el nivel estático del agua en los pozos que penetran en la zona de saturación (agua del subsuelo).  |
| <b>Desarenador</b>           | Es una estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas o las aguas superficiales a fin de evitar que ingresen al canal de aducción, a la central hidroeléctrica o al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando serios problemas. |
| <b>Intemperización</b>       | Cambios ambientales (temperatura, luz, viento, etc.) a los que la roca sólida se encuentra expuesta en la superficie terrestre donde experimenta demolición y degradación.   |
| <b>Escorrentía</b>           | Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.   |



## RESUMEN

La Municipalidad de Guatemala en la década de los años 60, al presentarse la disminución de caudales superficiales, el crecimiento poblacional y la demanda de servicio de agua potable, inicia con la perforación de pozos para la extracción de agua subterránea. En esa época la altura promedio del nivel freático era de 450 pies.

En la década de los años 70, la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (Empagua) es la encargada de dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado; por lo cual, continua con la perforación y encuentra la altura promedio a 700 pies. Más tarde, Empagua realizó estudios hidrogeológicos en los años 90 y se determinó que la altura promedio de perforación era de 900pies.

Según datos proporcionados por la dirección de aguas subterráneas de Empagua, en el año 2006 se realizó la perforación en un pozo de la zona norte de la ciudad a una profundidad de 1700 pies donde el nivel freático estaba aproximadamente 900 pies.

En la actualidad el nivel freático se encuentra por encima de los 1000 pies. La causa de este descenso del nivel se deriva de la sobreexplotación del acuífero que supera su recarga.

Por lo expuesto con anterioridad, el presente estudio defiende la importancia de recargar los acuíferos para almacenar el agua y poderla utilizar posteriormente.

Para realizar el presente estudio se tomaron en cuenta varias alternativas de recarga de acuíferos:

- Las zanjas de absorción
- Los sondeos de inyección
- Represas

Pero al realizar la evaluación respectiva, se determinó que estas requieren de grandes extensiones de tierra dentro del municipio y una inversión monetaria muy alta; por lo cual, no fueron se consideran viables para ser desarrollados en la ciudad de Guatemala.

La infiltración de agua por medio de pozos de absorción es una alternativa más viable para la ciudad de Guatemala debido a sus características principales.

A partir de la infraestructura actual del sistema de alcantarillado de la ciudad de Guatemala, se construyó un pozo de absorción conectado al rebalse de un tragante, en la colonia Kaminal Juyú zona 7 donde su función será infiltrar el agua pluvial para recargar el acuífero.

Debido a la extensa área tributaria de agua pluvial en el punto de investigación, no es viable la captación del 100% de agua pluvial del sector en los pozos de absorción, por lo que solo se captara el rebalse del tragante que servirá de conexión a la red de alcantarillad que evacuará el exceso.

Con esto se ayudará en dos aspectos al sector: la recarga de los acuíferos y el evitar las inundaciones; porque el agua que rebalsaba el tragante, inundando el lugar, ingresará al pozo de absorción y se filtrará al manto freático.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de captación e infiltración del agua pluvial para provocar una recarga del acuífero superior del valle de la ciudad de Guatemala, a partir de la infraestructura existente en la red de alcantarillado de la ciudad de Guatemala.

### **Específicos**

1. Utilizar las inundaciones provocadas por la crecida pluvial para la recarga de acuíferos.
2. Elevar los niveles de agua subterránea en forma puntual.
3. Mejorar la calidad del agua infiltrada a través de la implementación de un sistema primario de tratamiento.
4. Disponer de mayor cantidad de agua subterránea en el valle de la ciudad.
5. Prolongar la cantidad y calidad del agua subterránea del valle de la ciudad de Guatemala.



## INTRODUCCIÓN

El agua, el líquido vital por naturaleza, ha sido un factor determinante para la evolución tanto de especies vegetales como animales. El hombre, en su transición de nómada a sedentario, procuró siempre establecerse en las inmediaciones de los ríos, manantiales, lagos y otras fuentes donde pudiera proveerse del vital líquido.

A lo largo de su historia, el hombre ha tenido que enfrentarse con el problema del agua ya sea por su calidad o su cantidad, pues resulta imprescindible para el desarrollo de sus actividades cotidianas, pero peligrosa en exceso: inundaciones y catástrofes que han ocurrido a causa del agua y sus fenómenos asociados.

Durante mucho tiempo se pensó en el agua como elemento vital y recurso infinito por su fácil obtención de los ríos, lagos y manantiales. Tiempo después, ya no fue necesario que el hombre se estableciera cerca de las fuentes de agua, ya que se idearon técnicas para escavar y extraer agua del subsuelo y abastecerse por medio de pozos.

Por falta de una legislación adecuada que norme el aprovechamiento y explotación de los mantos subterráneos, ha aumentado de forma desmedida la perforación de pozos para satisfacer la demanda de la creciente población. Se localizan varios pozos en áreas muy reducidas que ocasiona interferencia entre ellos y descensos en los niveles freáticos. Esta situación ha provocado el abandono de algunos proyectos de infraestructuras de pozos y la búsqueda de nuevas alternativas para atender la demanda de la población.

Dado que en Guatemala, se aprovechando el recurso del agua subterránea, debido a que no ha sido factible la ejecución de proyectos de captación y conducción de fuentes de origen superficial, los acuíferos subterráneos son elementos imprescindibles para desarrollar estas actividades y prolongar la vida de dicha infraestructura.

A partir de estos factores, resulta conveniente la investigación sobre el uso de pozos de absorción en el sistema de alcantarillado pluvial de la ciudad capital para contribuir con la recarga del manto freático. Se busca aprovechar el agua pluvial que incrementa cada año, la cual el sistema de alcantarillado pluvial no es capaz de transportar a su descarga. Asimismo se contribuirá a la disminución de inundaciones y erosión al evitar las crecidas.

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Datos históricos del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guatemala, según entrevista al Ingeniero José Jorge Orellana Zúñiga.<sup>1</sup>

A más de tres siglos de haberse trasladado la ciudad de Guatemala al Valle de la Ermita, los 1860 metros cúbicos de agua que se utilizaban para surtir a los vecinos de la ciudad son sólo un lejano recuerdo.

*Fue hace 233 años, por mandato de las autoridades municipales de la época, que se organizó una comisión especial para que investigarán las características de los terrenos más cercanos al Valle de la Ermita para poder surtir del líquido a los vecinos.*

Un primer informe de la época indicaba: “bañan el Valle de la Virgen los ríos Las Vacas, Mixco, Pínula y diferentes vertientes que podrían incorporarse”.<sup>1</sup> Después de este estudio se unieron las aguas de los afluentes de Mixco, Concepción, Pansalique, Pancochá, Betián, Pinula, Acatán y La Bonita.

Con la unificación de estos caudales la nueva Ciudad de Guatemala fue beneficiada con 930 pajas de agua, es decir, 1860 metros cúbicos del líquido

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil, colegiado 572. Trabajó en la Municipalidad de Guatemala entre 1951 – 1972 y en Empagua entre 1972 y 2015.

que era conducido por medio de un acueducto cerrado, construido de ladrillo y mampostería, cuya principal fuente de abastecimiento era el río Pinula.

Una vez trasladada a la Ciudad de Guatemala, una parte de la distribución del agua se efectuaba a presión mediante un sistema primario de tuberías de barro cocido; la otra parte era transportada sin presión a los usuarios por un sistema de canales de barro cocido y ladrillos.

La distribución del agua, que llegaba al Valle de la Ermita a través de los acueductos de Pinula y Mixco, se hacía desde la central Cuarto de Trompeta, ubicada en la avenida Bolívar y 20 calle, zona 1 de la ciudad. En ese lugar se originaba el sistema primario de suministro el cual alimentaba una serie de cajas elevadas de mampostería llamadas alcantarillas colocadas en ciertas esquinas de las calles.

Figura 1. **Alcantarilla en 2ª avenida y 10ª calle zona 1**



Fuente: elaboración propia.

De estas cajas o alcantarillas se originaban los sistemas secundarios de distribución que se utilizaban para medir y resguardar los caudales que se servían a cada uno de los usuarios. Dicho servicio consistía en la perforación de un agujero en la pared de la alcantarilla, que luego era sellado con un mortero de cal, tras dejar introducido un tallo de paja. Al endurecerse el mortero se retiraba el tallo, y la cantidad de agua que salía por este orificio a la tubería de la residencia medía una paja de agua.

Esta práctica dio origen al derecho regulado del uso público del agua, la cual era suministrada sin presión ni sistema de medición real. Durante esta etapa, el líquido no era tratado; en consecuencia, no se distribuía agua potable.

El abandono del barro cocido como principal material para la construcción de las tuberías de abastecimiento de agua para dar paso al uso de hierro fundido, marcó el inicio de una nueva etapa en la distribución del líquido.

La tubería de hierro fundido gris y el hierro galvanizado, cuyo uso se introdujo en 1897, permitió reducir el consumo de tuberías de barro cocido.

La tubería de hierro no eliminó el uso de la tubería de barro, pero la desplazó a un segundo plano. Por esa razón, algunas instalaciones de tuberías de barro siguieron operando, ya que ambos sistemas de distribución domiciliar permitían el acceso al servicio mediante el uso de las denominadas “flautas”.

Las “flautas” eran pequeños tramos de tubería de diámetro mayor al utilizado para llevar el agua a las casas, ya que la tubería que conectaba la flauta con el inmueble usuario era de menor diámetro.

Cada nueva instalación efectuada desde la tubería principal dio lugar a que se formará una “telaraña” de conexiones de agua bajo tierra, que posteriormente quedaron bajo el pavimento de las calles y las banquetas de las residencias, lo que dificultaba su posterior ubicación, al no haberse realizado planos de las mismas.

Este cambio en el sistema de distribución de agua, con la creación de nuevas redes de tubería de metal en sustitución de las de barro cocido, coincidió con el crecimiento de la ciudad y la preocupación de las autoridades municipales del momento por mejorar el sistema de abastecimiento.

Entre 1889 y 1897, el gobierno central, con el fin de atender la creciente presión hacia las autoridades edilicias para solucionar el problema, decretó la intervención del servicio de suministro de agua y promovió la incorporación de nuevos caudales.

La intervención del sistema de agua permitió, en aquel entonces, renovar la mayor parte de la red de distribución, y el barro y la mampostería dieron paso al hierro fundido gris y al galvanizado.

Con el uso de un nuevo sistema para llevar el agua a los domicilios de los vecinos del municipio, mediante la utilización de una red de hierro fundido y galvanizado, la Municipalidad de Guatemala, a través de la Dirección de Aguas, entró a una nueva etapa: la de purificación o potabilización.

Junto a la instalación de una nueva red de hierro, en sustitución de la antigua tubería de barro cocido, la municipalidad estableció las primeras plantas de purificación de agua, así como su transmisión a mayor presión, para que llegara a más hogares.

Dicho proceso, que se mantiene hasta nuestros días, inicia después que la empresa J. Chite Engineering Co., y el ingeniero León Yela hicieran los estudios pertinentes para la introducción de los caudales de El Mariscal y el río Teocinte, respectivamente.

Este cambio, que se llevó a cabo entre 1 930 y 1 938 (aunque los estudios habían dado inicio en 1 926), permitió la creación de las dos primeras empresas privadas de distribución del líquido: Agua de Teocinte y Agua del Mariscal.

En julio de 1 931, las autoridades ediles decidieron establecer un sistema de medición del caudal: una “paja de agua” equivaldría a dos metros cúbicos, volumen que se suministraría diariamente a cada usuario y sería denominado “datación”.

La anterior medida coincidió con la implementación de un sistema de financiamiento para ejecutar las obras de conexión, con la venta de “pajas de agua” o fracciones, la cual se podía pagar en efectivo o por abonos.

Esta modalidad dio origen a la emisión del acuerdo del 9 de julio de 1941, por medio del cual se creó el “Título de Agua Municipal” que otorgaba el derecho a utilizar 2 000 litros de agua por día o 60 m<sup>3</sup> / mes.

## **1.2. Datos históricos de extracción de agua subterránea en la ciudad de Guatemala**

El proceso de perforación de pozos se inició en el año 1 965 en la Planta de Tratamiento La Brigada; y continuó en los años 1 966 y 1 968 en Belén y El Diamante.

En el año de 1 976, con préstamo del banco centroamericano de integración económica, fue creada la Unidad de Emergencia para la construcción de varias fases de perforación que fueron ejecutadas en los años 1 976, 1 978 y 1 981.

En el año de 1 994 fue creada la Unidad de Emergencia I para el Desarrollo del Agua Subterránea del Valle de la Ciudad de Guatemala para la perforación de 34 pozos, a través del Préstamo Japonés GT-P2.

## **1.3. Historia de profundidades de perforación**

Según los datos proporcionados por la Dirección de Aguas Subterráneas de Empagua, entre los cuales indica que en los años 1 965 y 1 968 en las Áreas de Ojo de Agua-Diamante se construyeron pozos de 450 pies debido a la poca explotación del área.

Durante los años 1 976 y 1 978 en el área urbana de la ciudad el promedio de perforación era de 700 pies.

En 1 981 con base en un estudio hidrogeológico se determinó que la profundidad promedio sería de 900 pies.

El estudio de pre factibilidad del Proyecto Emergencia I estableció que la profundidad mínima sería de 1 300 pies debido a la sobreexplotación de los acuíferos

En el año 2 006 se perforó el Pozo Preventiva II a una profundidad de 1 700 pies debido a que el nivel estático regional se encuentra alrededor de 850 a 900 pies.

Según datos proporcionados por el ingeniero Fernando Samayoa de la empresa DAHO POZOS, en la actualidad las perforaciones están por encima de los 1 000 pies y el nivel estático se encuentra alrededor de los 900 pies.

#### **1.4. Datos históricos de la red de alcantarillado en la ciudad de Guatemala**

Destruída la antigua capital por los terremotos de Santa María en el año 1 773 y, según mandato del, monarca español Carlos III por Cédula del 21 de Julio de 1 775, trasladada al paraje de la Virgen, el ayuntamiento celebró la primera sesión el 2 de enero de 1 776 en el Valle de la Ermita y quedó establecido en el lugar que actualmente ocupa la Nueva Ciudad de Guatemala, en el lugar que hoy se conoce como La Parroquia.

Con el devenir de los años, debido a su natural expansión, la Ciudad Capital fue absorbiendo una serie de poblados que existían antes de su

fundación en el Valle: Jocotenango, La Libertad, San Gaspar, Ciudad Vieja y la Villa de Guadalupe. En la actualidad se ha expandido a los municipios de Mixco Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula y Chinautla con sus respectivas aldeas.

La meseta donde se encuentra localizada la Ciudad de Guatemala, es un gran asentamiento producto de dos fallas geológicas que la limitan al este y al oeste, formado con material sedimentario (arena y ceniza volcánica) lo que constituye el subsuelo actual; además, de la meseta es atravesada en su parte central y longitudinal por un macizo rocoso.

El valle se encuentra surcado por grandes barrancos que delimitan una serie de penínsulas donde los habitantes han asentado sus viviendas; estos barrancos se han formado por la erosión causada por una serie de vertientes, pero sus taludes no son estables.

La ciudad, establecida en 1776, ocupó el área norte del valle, y desde entonces los drenajes fueron vertidos a los barrancos inmediatos: La Barranca en el poniente, y los ríos La Barranquilla y Las Vacas hacia el oriente, convirtiendo esas áreas en insalubres por la contaminación directa de las aguas negras.

A consecuencia de esa disposición irracional sobre las aguas servidas, se originaron graves daños a los pobladores de las áreas adyacentes a los barrancos: derrumbes provocados por la erosión e inestabilidad de los taludes.

Como parte de la construcción de la nueva ciudad de Guatemala, desde el año de 1776 se construyeron una serie de conductos rectangulares de ladrillos conocidos como tahujias, para conducir el agua de las pilas y

repositorias, así como parte del agua de lluvia caída sobre techos, patios y calles; pero su principal objetivo era recoger las aguas domésticas de las residencias. Cuando se pasó del pozo ciego a la disposición de desechos por medio del agua, esta también fue a dar a dichos conductos. Entonces, desde su origen la ciudad contó con un sistema de drenajes que, según los cánones actuales, era casi un sistema de drenajes sanitarios; prueba de ello era el antiguo gabarito de las calles que permitía que el agua de escorrentía, después de un aguacero, corriera del valle de la ciudad.

El valle de la ciudad de Guatemala se localiza en la divisoria interoceánica de aguas que se encuentra demarcada aproximadamente a lo largo del acueducto colonial Los Arcos, en el Boulevard Liberación, y la salida de la Carretera Panamericana Ramal Occidental; característica especial que se refleja directamente con el desarrollo de los drenajes de la ciudad.

Cuando se inició la pavimentación de concreto de las calles, se efectuó una remodelación de los drenajes de la ciudad: se transformó el sistema que otrora fuera casi de un sistema de drenajes sanitario por uno del tipo combinado. Esta transformación no solo fue en el sistema sino también en la forma y parte de los materiales empleados ya que se cambió la forma rectangular por la circular y el ladrillo por el concreto. Para el trazo de los nuevos drenajes se siguió el trazo que las propias corrientes habían marcado, ya que el sistema es una serie de conductos que por gravedad conducen las aguas negras y de lluvia a los barrancos más cercanos, lo que origina una compleja serie de cuencas que tienen sus bocas de descarga en los barrancos del norte, oriente y poniente de la ciudad.

Esta serie de trabajos se han desarrollado en los lugares más poblados que corresponden a la zona situada al norte de la divisoria de aguas antes

descrita, y en la que su escorrentía natural es hacia los barrancos y ríos tributarios al Océano Atlántico.

La municipalidad de Guatemala ha prestado los servicios de alcantarillado. Mediante préstamos BID 353/SF-60 y BID 540/SF-60 se creó la Unidad Ejecutora de Saneamiento de la Ciudad de Guatemala en los años 70, para la construcción de los grandes colectores oriente y poniente de la ciudad de Guatemala, así como para la ampliación de infraestructura de agua potable.

Empagua fue fundada el 27 de noviembre de 1972 para la ejecución de proyectos de agua potable, y luego de los servicios de alcantarillado a partir finales del año de 1984.

#### **1.5. Infraestructura de la red de alcantarillado en la ciudad de Guatemala**

La infraestructura de la red de alcantarillado de la ciudad de Guatemala se encuentra normada en los reglamentos vigentes: *Reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala* (aprobado en el punto VI, acta 29 de la sesión del 19 de marzo de 1964 de la Honorable Corporación Municipal) y *Reglamento del servicio público de alcantarillado y drenajes para el municipio de Guatemala* (publicado en el Diario de Centro América el 16 de febrero de 1989) y estos se componen de los siguientes elementos.

### **1.5.1. Colectores**

Se le denomina así al conductor que colecta las aguas cloacales, pluviales, o ambas, provenientes de los ramales colectores, y que los conducen a plantas de tratamiento o a su disposición final en las cuencas de desfogue.

El tramo del alcantarillado público que conecta diversos ramales de una alcantarilla. Se construye bajo tierra, por el garabito de la calle, frecuentemente se construye en la parte medio de las calles de manera que cada una de las viviendas de esa vía pueda conectarse para la evacuación apropiada de las aguas residuales.

Los colectores deben proyectarse con pendiente calculadas hidráulicamente para permitir el flujo de las aguas por gravedad, pero nunca de forma extrema, para evitar velocidad excesiva y riesgos de erosión. Así mismo, sus juntas deben ser herméticas para evitar filtraciones de agua residuales al terreno y para impedir el ingreso del agua de lluvia, las infiltraciones del terreno circulante o la introducción de raíces. Por otra parte, deben ser lisas a fin de que no se produzcan obstrucciones por objetos sólidos que pudieran entrar al alcantarillado.

Los colectores se encuentran normados para su diseño de acuerdo a las secciones 202-a y 202-b del *Reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala*.

Figura 2. **Foto colector**



Fuente: elaboración propia.

### **1.5.2. Pozos de visita**

Estructuras construidas con el objeto de proporcionar el acceso a los ramales principales o a los colectores con el propósito de inspeccionar y limpiar el sistema.

Se colocan basados en el diseño respectivo y en forma general en los siguientes casos:

- Cambio de diámetro.
- Cambio de pendiente.
- Cruce de dos o más tuberías.
- Tramos iniciales.
- Se encuentra normado que deben estar separados entre sí por una distancia no mayor a los 100 metros.

Estos se encuentran normados en el capítulo II inciso 205, 205-a), 205-b), 205-c), 205-d) del reglamento indicado.

Figura 3. **Foto pozo de visita**



Fuente: elaboración propia.

### **1.5.3. Conexiones domiciliarias o secundarias**

Tienen por objeto recibir las aguas servidas o pluviales de las edificaciones y conducir las a las tuberías centrales.

Se componen de los siguientes elementos:

Conexión domiciliaria, candela: la caja donde se coloca uno o varios tubos de 0.40 metros de diámetro ( $\varnothing$  16"), en posición vertical. La profundidad de la tubería debe ser tal que permita que el punto más alejado del lote tributario a ella, pueda ser drenado por medio de una tubería que partiendo de dicho punto tenga una pendiente mínima del 2%.

La caja domiciliaria debe estar localizada en la banquetta, enfrente del inmueble, en forma visible, con una tapadera de concreto.

Figura 4. **Foto conexión domiciliar**



Fuente: elaboración propia.

Conexión con el ramal principal o acometida: tramo de tubería de 0.20 metros de diámetro ( $\varnothing$  8") de aproximadamente 8 metros de longitud o más, según la localización de la tubería central, y no podrá tener una pendiente menor del 2% ni mayor del 6%; el eje de esta tubería formará con el eje de la principal un ángulo no menor de  $30^\circ$  ni mayor de  $75^\circ$  y se situará de manera tal que el sentido de las corrientes sea el mismo.

Se construye en el diámetro medio superior del colector y se encuentran normados en el *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes* en el capítulo II, inciso 203 – D.

#### 1.5.4. Tragantes

Son las estructuras localizadas en la calle o en los bordillos, las cuales dan acceso a las aguas de lluvia al sistema de drenajes pluviales. Hay tres tipos:

1. Acera
2. Rejilla transversal
3. Rejilla longitudinal

Las condiciones para localizar los tragantes son las siguientes:

- En los puntos bajos de las calle o avenidas
- En las intersecciones de las calles
- A distancia no mayores de 100 metros

Para esta estructura se rige su construcción y diseño en el reglamento lo correspondiente en el capítulo IV, inciso 407 y estipulado en la sección 207.

Figura 5. **Foto tragante**



Fuente: elaboración propia.

### **1.5.5. Pozo de luz**

Sirve para el control del funcionamiento de un tramo de tubería (se coloca entre 2 pozos de visita). Se ubica donde exista duda del funcionamiento.

### **1.5.6. Derivadores de caudal o reguladores de caudal**

Estructura hidráulica que hace descargar el caudal combinado de un sector específico en barrancas cercanas, cuando el caudal excede a la capacidad de diseño del colector que une el regulador con el colector principal. El objeto es que el colector principal trabaje con su capacidad de diseño.

Existen diferentes tipos:

- Aliviaderos o vertederos laterales
- Vertederos con tabiques deflectores
- Vertederos transversales
- Vertederos de salto
- Sifones de aliviaderos
- Orificio fijo

Figura 6. Foto derivador de caudal



Fuente: Empagua.

### 1.5.7. Disipador de energía

Sirve para eliminar la cinética y/o potencial que lleva el agua en los pozos de visita, en tuberías y descargas a los cuerpos receptores. Esta energía puede dañar el sistema de drenajes si no es calculada y manejada en los sistemas de alcantarillado en forma adecuada.

Figura 7. Foto disipador de energía



Fuente: Empagua.

## **1.6. Clasificación de las redes de alcantarillado en la ciudad de Guatemala, según el Reglamento de diseño de drenajes y Construcción de drenajes**

### Capítulo III

301-a) Para el propósito de la disposición de las aguas cloacales domésticas, la ciudad se dividirá en las zonas siguientes:

- 1) Zona atlántica de drenajes, la localizada al norte de la divisoria de aguas.
- 2) Zona pacífica de drenajes, la localizada al sur de la divisoria de aguas.
- 3) Zonas habitadas no consideradas por la municipalidad como lotificaciones en las cuales no existe red de drenajes.

301-b) En la zona atlántica de drenajes las aguas cloacales de origen doméstico se dispondrán en un sistema de drenajes del tipo conocido como combinado.

301-c) En la zona pacífica de drenajes, las aguas cloacales de origen doméstico se dispondrán en un sistema de drenajes del tipo conocido como separativo, salvo en el área que es tributaria al colector Reformita – Mariscal – Roosevelt, en que podrán ser dispuestas en un sistema de drenajes del tipo conocido como combinado.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Municipalidad de Guatemala. Reglamento para el diseño y construcción de drenajes. Guatemala: Dirección de Aguas y Drenajes, 1983, p. 20

Figura 8. Foto división de cuencas

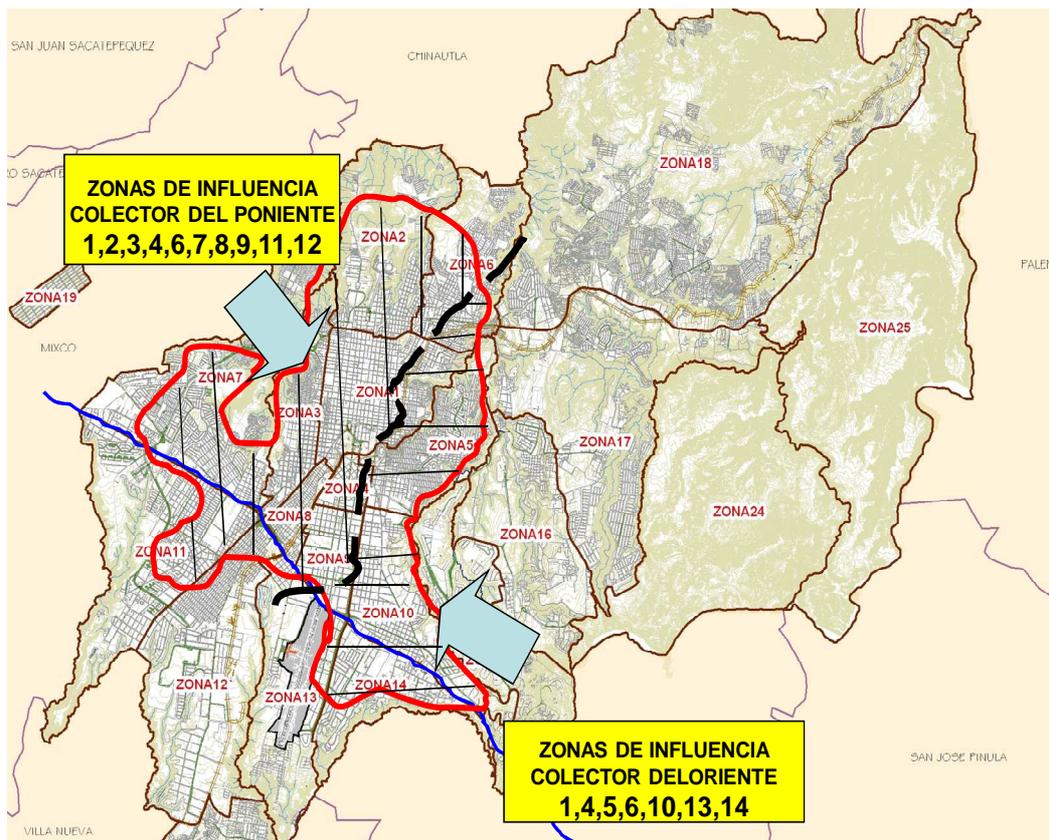


Fuente: Empagua.

### 1.6.1. Zona de influencia de los grandes colectores poniente y oriente.

Para efectos del presente trabajo solo se ilustran los dos grandes colectores con una longitud de 11 km, pero la ciudad de Guatemala cuenta actualmente, con una red más extensa: rebasa los 120 km lineales en diferentes diámetros.

Figura 9. Foto zona de influencia de colectores



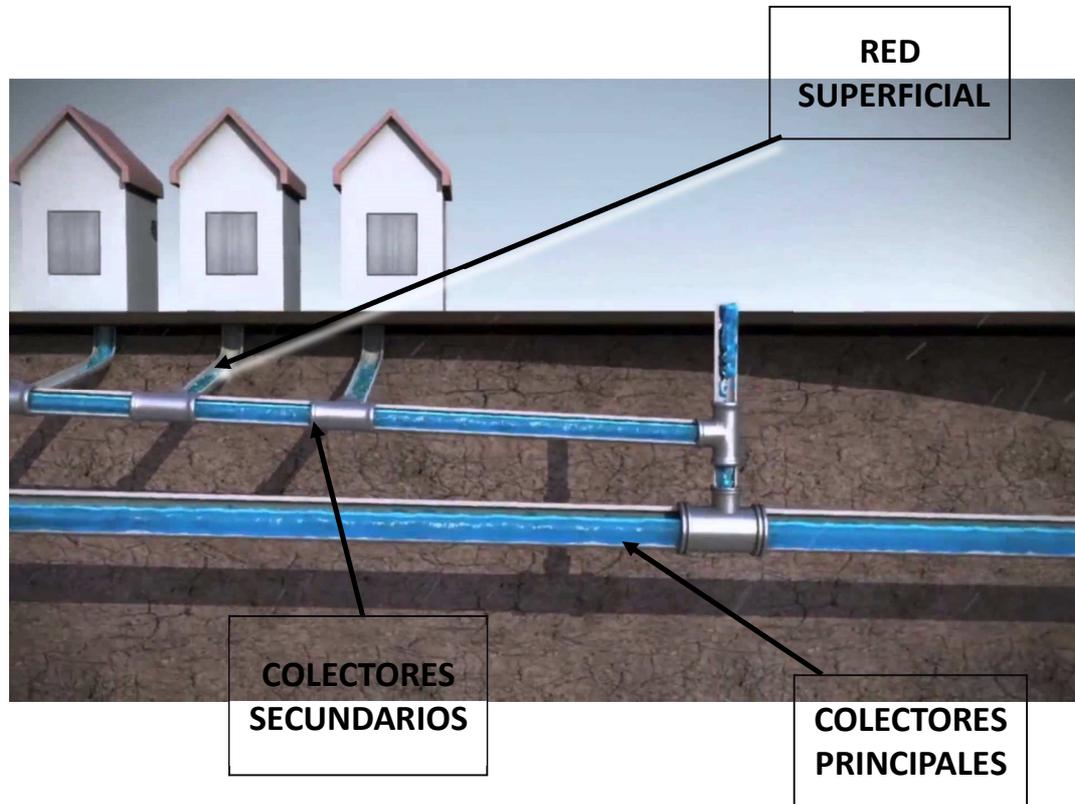
Fuente: Empagua.

### **1.6.2. Sistema de drenajes de la ciudad de Guatemala**

El sistema de drenajes de la ciudad se clasifica de la siguiente forma:

- Red superficial (2-3 mts. de profundidad)
  - Candelas domiciliarias de drenaje
  - Tragantes y rejillas
  
- Colectores secundarios (3-30 mts. profundidad)
  - Redes superficiales
  
- Colectores profundos o principales (30-60 mts. profundidad)
  - Colectores secundarios

Figura 10. Foto componentes del sistema de alcantarillado



Fuente: elaboración propia.



## 2. INFORMACIÓN GENERAL

### 2.1. Identificación del sector de trabajo

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo la construcción de pozos de absorción para realizar recarga de acuíferos mediante la infiltración.

Los cambios climáticos presentes en el territorio nacional, el cambio de uso del suelo, la deforestación y el crecimiento de la ciudad han provocado altas precipitaciones que provocan inundaciones y que se pretenden aprovechar para provocar infiltraciones a los acuíferos.

Se analizaron diferentes sitios de la ciudad de Guatemala, con estas características; y se considera que el más indicado y representativo por los graves daños presentados en los últimos 3 años en época lluviosa es el sector de la 23 avenida y 5 calle de la zona 7, Colonia Kaminal Juyú I.

Esta zona residencial fue construida en los años 80 y cumplió, en su momento, con todos los requisitos vigentes en el *Reglamento para diseño y construcción de drenajes de la municipalidad de Guatemala*. Su sistema de drenajes es combinado: está formado por un solo conducto o tubería a través del cual se conducen tanto aguas pluviales como sanitarias, reglamentado en el capítulo I, 101-b) inciso 3 de este reglamento. El material de la tubería empleado es de concreto, el diámetro promedio mínimo es de 0.40 metros de diámetro (Ø16 pulgadas), y pendientes promedio de 2%. Ver plano de tuberías en el anexo.

Las viviendas o lotes se diseñaron para uso unifamiliar los cuales contaban con áreas de vivienda, patios y jardines. Actualmente se puede verificar con una inspección ocular simple que este concepto varió: se construyeron viviendas de más de dos niveles, en las áreas de jardines. Este factor es importante para el presente estudio, ya que estas áreas eran destinadas en forma indirecta para la filtración de agua al subsuelo. Por lo tanto, se puede afirmar que en la actualidad se ha impermeabilizado la zona al 100% y su caudal es captado por la red de drenajes.

## **2.2. Localización y acceso**

El sitio de estudio está ubicado en la 23 avenida y 5 calle zona 7, colonia Kaminal Juyú I, de la ciudad de Guatemala. Se localiza aproximadamente a 7.5 kilómetros del centro de la ciudad y colinda con las zonas postales 11, 8, 3.

Colinda al noreste con el Centro Arqueológico Kaminal Juyú, al sur con Residenciales Villas de San Juan, al norte con la colonia Jardines de Tikal I y al Sureste con la Calzada San Juan.

La colonia Kaminal Juyú I, se encuentra urbanizada en su totalidad. La integran el área arqueológica y áreas públicas cubiertas de vegetación, pero que no infiltran el caudal al subsuelo, por su composición de zonas impermeabilizadas, por lo que este caudal escurre en su totalidad a la red municipal.

La colonia Kaminal Juyú I, como toda urbanización aprobada por la municipalidad de Guatemala, cuenta con geometría de avenidas y calles, con un ancho promedio de 9 metros; áreas que están debidamente asfaltadas, con

cobertura total de los servicios de drenaje y agua potable, servicios prestados por Empagua.

El área de estudio cuenta con los servicios de transporte público de autobuses y taxis. Sus vías de acceso importantes son el Anillo Periférico y la Calzada San Juan.

Se adjunta la gráfica de la localización de la colonia Kaminal Juyú I, auxiliado por las fotografías satelitales del sistema de internet Google.

Figura 11: señala los accesos principales con respecto a la zona de estudio.

Figura12: el Parque Arqueológico Kaminal Juyú y la calzada San Juan, como referencia específica el área de estudio.

Figura 11. **Perímetro de estudio**



Fuente: Google Maps.

Figura 12. Esquema área de estudio



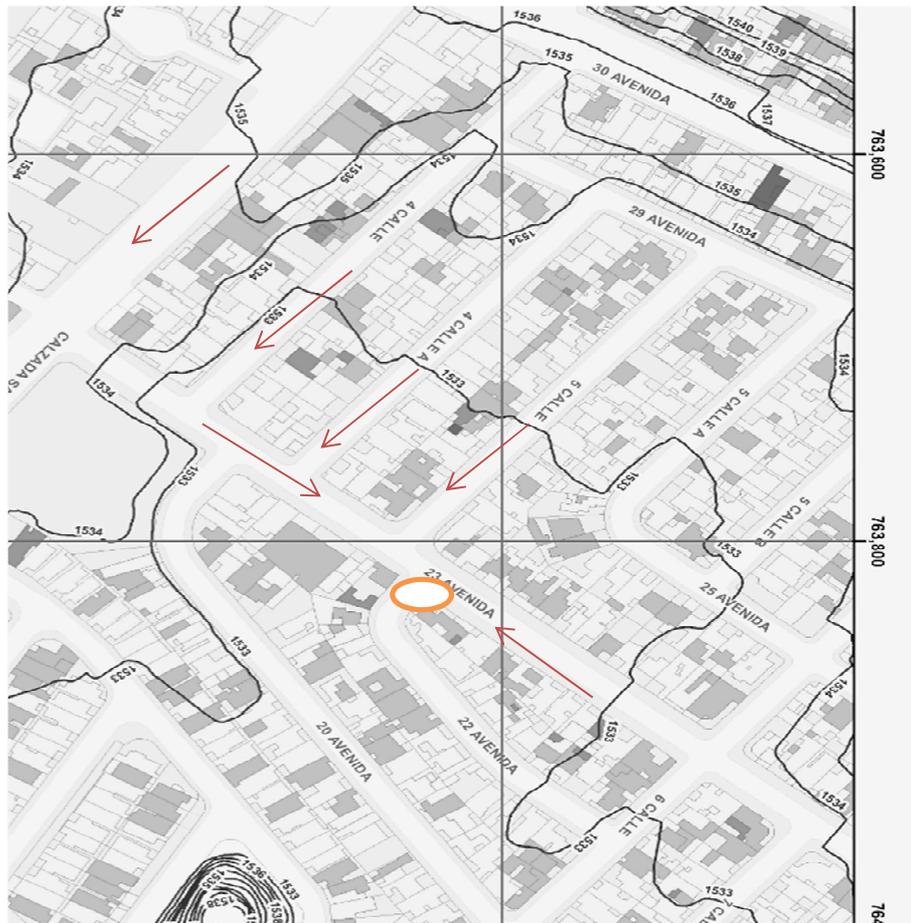
Fuente: Google Maps.

### **2.3. Topografía**

La ciudad de Guatemala se encuentra ubicada a una altitud media de 1 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) en las coordenadas: latitud 14°37'15" N, longitud 90°31'36" O.

La zona de estudio está ubicada en la 23 avenida y 5 calle zona 7, colonia Kaminal Juyú I. Es un eje vial significativo, lo cual lo hace importante para efectos del presente estudio. Este sector en época de lluvia se convierte en una vertiente natural de aguas pluviales, específicamente el sector de la 23 avenida, una arteria que a lo largo de su recorrido se convierte en un canal abierto de este caudal, teniendo en cuenta que es afectada desde la cota 1544, la cual en forma gradual disminuye hasta la cota 1533 y provoca una depresión lo cual dificulta la evacuación de estos caudales en forma inmediata y eficaz, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Curvas de nivel



← Flujo de agua  
○ Área de estudio

Fuente: Dirección de Catastro, Municipalidad de Guatemala.

Por ser un punto bajo topográficamente, también llega agua de otras áreas tributarias de colonias vecinas, las ubicada al noroeste del punto de estudio lo que aumenta el caudal. El tiempo de concentración y la escorrentía en el área es extrema ya que toda esta área está impermeabilizada por asfalto o pavimento.

#### **2.4. Población y vivienda**

La colonia Kaminal Juyú I se encuentra clasificada, por factores económicos de nivel medio. En el área se observan viviendas formales construidas de mampostería (*block*, ladrillo) y techos de lámina y/o terraza fundida. Las viviendas han sufrido cambios estructurales ya que en las mayoría de los casos las viviendas construidas de un nivel han variado su estructura en la mayoría de los casos de dos y de hasta de tres niveles. En general, las viviendas se caracterizan por utilizar un sistema de construcción mixto de mampostería reforzada.

La colonia se clasifica como área urbana ya que posee todos los servicios básicos con un trazo urbano bien definido por calles y avenidas y con una buena movilidad urbana a través de sus aceras, áreas verdes y parques.

Servicios públicos existentes:

- Energía eléctrica
- Servicio de agua potable
- Alcantarillado y drenajes

- Transporte público de autobuses y taxis
- Servicio de telefonía, cable e internet



### **3. ESTUDIOS**

#### **3.1. Calidad de agua a infiltrar**

La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alterada por la actividad humana. El concepto de calidad del agua ha sido asociado al uso del agua para consumo humano, por lo tanto, se entiende que el agua es de calidad cuando puede ser usada sin causar daño. Sin embargo, según otros usos que se requieran para el agua, se puede determinar la calidad del agua para dichos usos.

En este contexto, se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias y microorganismos peligrosos para los consumidores, y exenta de sustancias que transmitan sensaciones desagradables para el consumidor: color, olor, sabor o turbiedad. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los humanos: enfermedades de origen hídrico.

El agua potable es el agua apta para el consumo humano, la cual puede provenir de fuentes superficiales o subterráneas y generalmente debe estar tratada para eliminar cualquier contaminación. En Guatemala existen normas para el agua potable establecida por la comisión guatemalteca de Normas Coguano NGO-29001. En ella se establecen límites máximos aceptables y permisibles de compuestos químicos, características sensoriales, biocidas y

límites microbiológicos, así como las concentraciones de cloro y métodos de análisis bacteriológicos.

Entre los factores que determinan la calidad del agua están:

- Factores físicos: la calidad del agua modificada por sustancias puede no ser tóxica, pero cambia el aspecto del agua: sólidos en suspensión, turbidez, color o temperatura.
- Factores químicos: las actividades industriales generan contaminación del agua cuando hay presencia de metales pesados tóxicos para los humanos: arsénico, plomo, mercurio y cromo. La actividad agrícola contamina cuando emplea fertilizantes que son arrastrados hacia las aguas, especialmente nitratos y nitritos. Además, el uso inadecuado de plaguicidas contribuye a contaminar el agua con sustancias tóxicas para los humanos.
- Factores biológicos-bacteriológicos: Existen diversos organismos que contaminan el agua. Las bacterias son de los principales contaminantes del agua. Los coliformes representan un indicador biológico de las descargas de materia orgánica. Los coliformes totales no son indicadoras estrictas de contaminación de origen fecal, puesto que existen en el ambiente como organismos libres. Sin embargo, son buenos indicadores microbianos de la calidad del agua. La *Escherichia coli* es la única bacteria que sí se encuentra estrictamente ligada a las heces fecales de origen humano y de animales de sangre caliente. También contaminan el agua virus, algas, protozoos y hongos.

La calidad del agua se mide por la presencia y cantidad de contaminantes y para conocerse con exactitud es necesario realizar un análisis del agua en un laboratorio especializado.

Existen muchas razones por las cuales el agua pierde su calidad y el ser humano generalmente tiene una gran influencia en la presencia de los factores que favorecen esta situación.

Algunas de las razones son las descargas por su uso en actividades domésticas y comerciales, industriales y agrícolas.

La contaminación del agua es el proceso mediante el cual se agregan organismos o sustancias tóxicas inadecuadas para diferentes usos.

La mala calidad del agua afecta muchas actividades vitales. Los efectos más evidentes del uso de agua de mala calidad se reflejan en enfermedades que afectan al ser humano. Entre las principales enfermedades vinculadas directamente con el agua están las de origen digestivo: diarrea, parasitismo intestinal, cólera, fiebre tifoidea y shigelosis. Una mala calidad del agua también afecta la salud de los ecosistemas, pues la biodiversidad asociada al agua se ve afectada por la contaminación.

Cuando se planteó el proyecto de utilizar pozos de absorción para ayudar a la recarga de acuíferos con el uso de tragantes como captadores de agua pluvial al pozo de absorción, se planteó el problema de las primeras lluvias que conducen toda la contaminación que posee el asfalto (grasa, tierra, basura, etc.) y que podrían ser un factor de contaminación para el manto freático.

No obstante, el sistema propuesto no recaudará las primeras lluvias sino solamente las aguas de rebalse; es decir, todas las aguas que no logren ingresar al sistema de alcantarillado y produzcan una inundación.

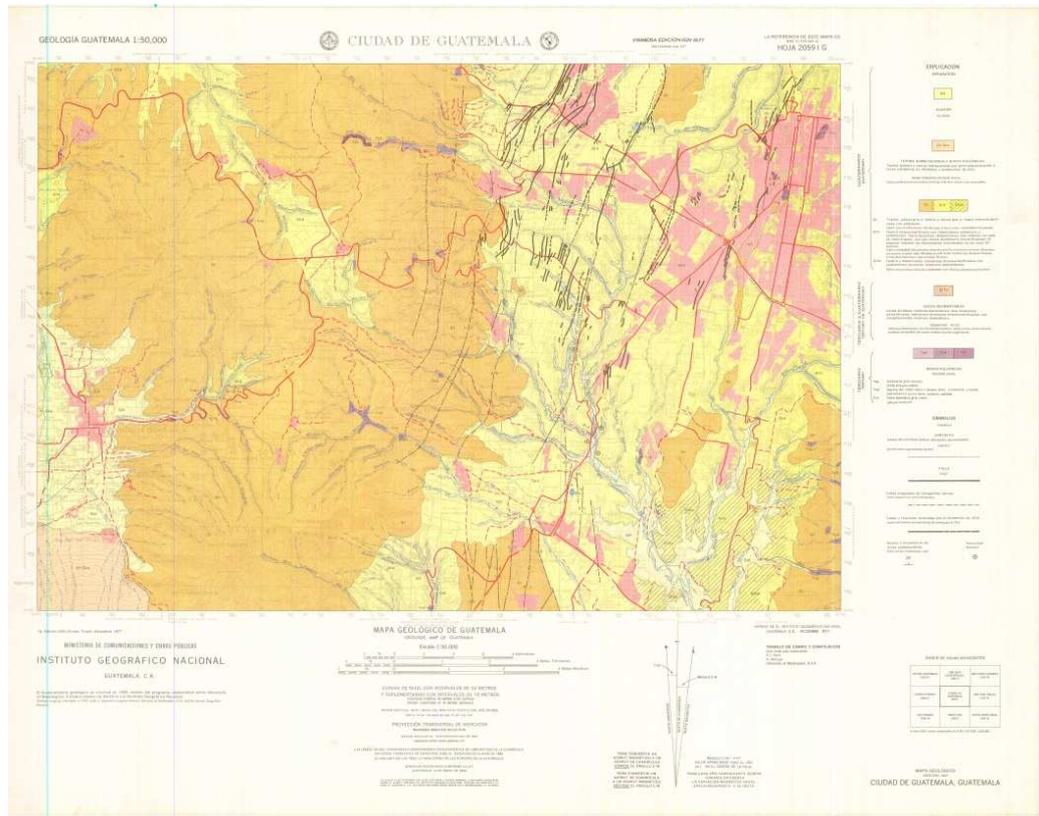
Por lo tanto, se asume que el agua que ingrese al pozo de absorción carece de residuos que podrían contaminar el manto freático ya que el agua pluvial que ingrese al pozo por medio del tragante del sistema de drenaje será el agua pluvial que escurre sin acarreo de desechos de la carpeta asfáltica.

### **3.2. Estudio de suelo**

En Guatemala interactúan tres placas tectónicas principales: Cocos, Caribe y Norteamericana, cuyos movimientos provocan los movimientos sísmicos que se reflejan en la superficie. Guatemala se subdivide en cuatro provincias geológicas. Este proyecto se encuentra en la cordillera central guatemalteca la que se caracteriza por la presencia de rocas sedimentarias paleozoicas que han sido meteorizadas y han formado esquistos y filitas, diabasas y basaltos.

De acuerdo con el mapa geológico de Guatemala del Instituto Geográfico Nacional –IGN-, el proyecto se encuentra en una zona de rocas subyacentes del terciario Tvd dacita de color y grano fino riodacita y latita.

Figura 14. Mapa geológico de Guatemala



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Figura 15. Área del proyecto



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

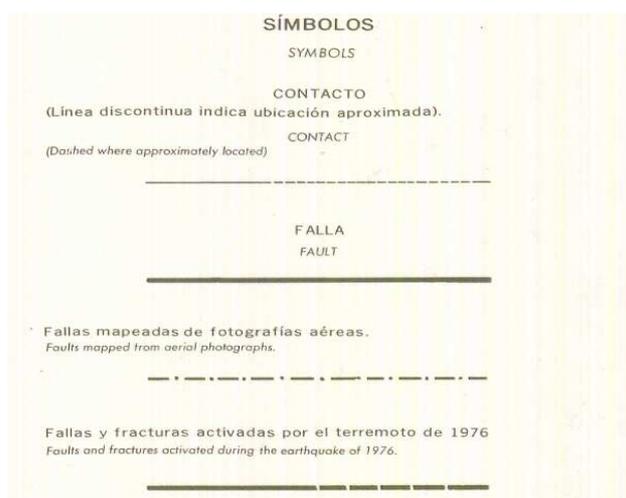
Figura 16. Nomenclatura

|                       |     | Tva  | Tvd | Tvt |
|-----------------------|-----|--|-----|-----|
|                       |     | ROCAS VOLCÁNICAS<br>VOLCANIC ROCKS   |     |     |
| TERCIARIO<br>TERTIARY | Tva | Andesita gris oscura<br><i>Chiefly dark gray andesite</i>  |     |     |
|                       | Tvd | Dacita de color claro y grano fino, riodacita y latita.<br><i>Light colored fine grained dacite, rhyodacite, and latite.</i> |     |     |
|                       | Tvt | Toba biotítica gris claro.<br><i>Light gray biotite tuff.</i>  |     |     |

Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

En el mapa se observa que existe una falla geológica cercana.

Figura 17. **Nomenclatura de fallas geológicas**



Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

Geológicamente el subsuelo donde se encuentra la mayor parte de la ciudad de Guatemala, incluyendo el área donde se realizó el estudio de suelos, está formado por depósitos recientes piroplásticos de gran espesor, de 200 a 400 metros. De acuerdo con el documento *Síntesis geológica de Guatemala* del Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM) de la Universidad de San Carlos de Guatemala, USAC, la ciudad de Guatemala se ubica en la provincia fisiográfica denominada cinturón volcánico. Los depósitos piroplásticos de este cinturón provienen de erupciones volcánicas que han formado estratos bien definidos con diferentes grados de intemperización. Algunos estratos también se han formado por la deposición eólica de cenizas expulsadas por los volcanes. El manto de rocas volcánicas sin dividir de este cinturón se encuentra a una gran profundidad (a más de 50 metros).

La profundidad de exploración del subsuelo alcanzó los 18 metros, debido que no se encontró cambio en las propiedades de absorción del suelo. Se encontraron capas de arena volcánica intercaladas con estratos de limos arenosos.

El estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, la composición de los elementos en las capas de profundidad y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar o al caudal a infiltrar.

Para determinar la capacidad de absorción del pozo debe hacerse la prueba de absorción a diferentes profundidades. El término medio del coeficiente obtenido sirve para determinar las características absorbentes del terreno de un sector.

## **PROCEDIMIENTO**

Para efectuar la prueba de absorción, a medida que se realiza la excavación del pozo en sus diferentes profundidades, se realizan excavaciones de estudio de 0.30 x 0.30 m de base por 0.35 m de profundidad, a fin de obtener una cifra media.

Figura 18. **Ensayo índice de absorción**



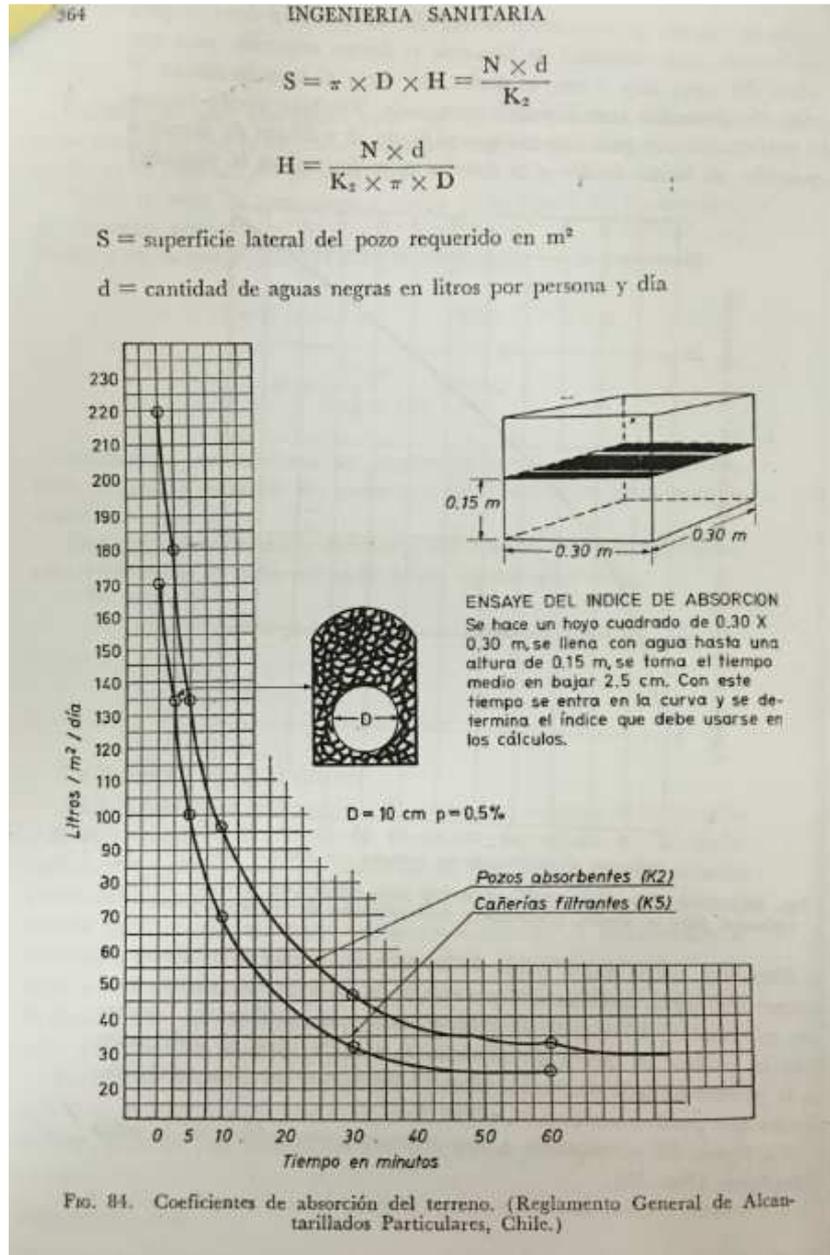
Fuente: Unda Opazo, Francisco, *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*, p. 364

Después de la excavación de prueba, se realizan las pruebas de filtración que se describen a continuación indicadas por Francisco Unda Opazo en su libro *ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*:

- Se coloca en el fondo del pozo excavado una capa de 5 cm de arena gruesa o gravilla; luego se llena con agua y se deja que se filtre en su totalidad y mide el tiempo en que se efectuó la filtración.
- Después se repite el proceso de llenado del pozo, en forma continua, por lo menos cuatro horas, y de preferencia por la noche, para que el terreno se sature.

- A continuación, se ajusta la altura del agua hasta una profundidad de 0.15 m y se determina el tiempo que tarda en bajar 2.5 cm lo que indica la velocidad de filtración. Se mide así el descenso después de treinta minutos para terrenos normales o de diez minutos para terrenos arenosos o muy permeables. Si, por ejemplo, el nivel del agua desciende 0.25 m en treinta minutos, la velocidad de filtración es de tres minutos (tiempo que tarda en bajar 2.5 cm). Con esta velocidad de filtración se determina el coeficiente de absorción.
- La ilustración de la figura 19, gráfica que indica la absorción del terreno, expresada en l/m<sup>2</sup>/día (K<sub>2</sub>), en función del tiempo que tarda en bajar el nivel de agua 2.5 cm, correspondiente a la prueba de absorción recientemente descrita.
- Con este coeficiente de absorción (K<sub>2</sub>), dado por la curva correspondiente en la gráfica, se puede determinar la profundidad del pozo.

Figura 19. Coeficiente de absorción del terreno



Fuente: Unda Opazo, Francisco, *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*, pág. 364

Para calcular la dimensión del pozo no debe considerarse el fondo de la excavación porque se colmata rápidamente, sino la superficie de los taludes bajo la línea de agua la cual será determinada por el nivel de la tubería de llegada.

Si un porcentaje del terreno es impermeable, debe restarse la superficie correspondiente.

Para este estudio, se realizaron 4 pruebas de absorción durante la construcción del pozo; 5, 10, 15 y 18 metros de profundidad con los siguientes resultados:

Tabla I. **Tabla resumen de absorción del terreno**

| Profundidad | Tiempo de absorción | cantidad de agua a absorber en litros / m <sup>2</sup> / día (factor K <sub>2</sub> ) |
|-------------|---------------------|---|
| 5 metros    | 28 min.             | 50  |
| 10 metros   | 28 min.             | 50  |
| 15 metros   | 26 min.             | 55  |
| 18 metros   | 26 min.             | 55  |

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del pozo de absorción se utilizará el promedio de las cuatro mediciones.

$$\text{Cantidad de agua a absorber} = 50 + 50 + 55 + 55 / 4$$

$$\text{Cantidad de agua a absorber} = 52.5 \text{ litros / m}^2 \text{ / día}$$

Para calcular la cantidad de agua que el pozo de absorción pueda absorber en una determinada cantidad de tiempo se utilizará:

Cantidad de agua que absorbe el pozo de absorción = 53 litros / m<sup>2</sup> / día

### **3.3. Sistema de tratamiento de agua pluvial**

El tratamiento de agua pluvial tiene como objeto la separación del agua de las arenas y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar que se contamine con los desechos en la red (un sistema primario de tratamiento). En el presente estudio se utilizó el tragante con una doble función: captador de agua y desarenador. Esto implica que cuando se den las crecidas, todos los residuos que contenga el agua se precipitarán al fondo del tragante y serán evacuados por la red de drenajes, y que lo que ingrese al pozo de absorción será agua pluvial sin contenido de desechos sólidos, lo cual garantizará que el agua a infiltrar estará libre de residuos que puedan contaminar el manto freático.

El pozo de absorción en sus especificaciones constructivas indica que en sus paredes tendrá una capa de piedrín que servirá como filtro y que ayudará a que cualquier residuo que se pudiese trasladar no logre filtrarse más allá de esa infraestructura.



## 4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

### 4.1. Estudio de alternativas

A partir de la problemática expuesta se analizaron las siguientes alternativas:

1. La recarga de acuíferos por medio de zanjas. Esta es funcional cuando se cuenta con grandes extensiones de tierra para realizarlas, además, son poco profundas; lo cual en las ciudades no es posible por la alta densidad poblacional.

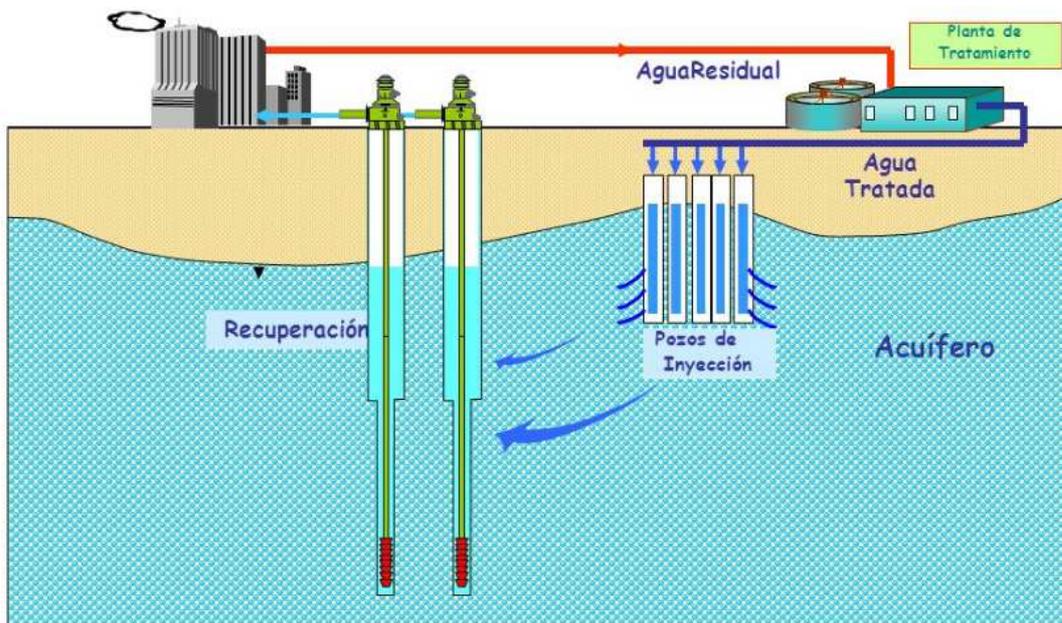
Figura 20. **Zanjas de absorción**



Fuente: Empagua.

2. La recarga de acuíferos se podría realizar a través del sondeo de inyección lo cual requiere de sondeos directos al acuífero y lo cual es muy oneroso ya que se debe perforar y realizar estudios especializados.

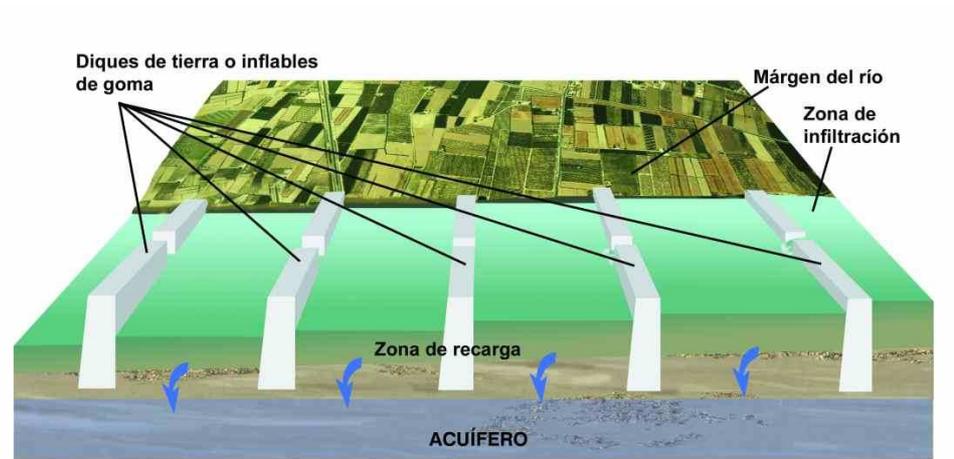
Figura 21. **Recarga de acuíferos a través de inyección**



Fuente: Empagua.

3. La recarga por represas requiere mucha infraestructura tanto para su manejo como almacenamiento mientras se filtra al subsuelo.

Figura 22. **Recarga por represas**



Fuente: Empagua.

Figura 23. **Recarga por represa**



Fuente: Empagua.

4. Recarga de acuíferos por medio de pozos de absorción. Según las alternativas expuestas, la recarga a través de pozos de absorción es la más adecuada para el estudio ya que provoca un impacto ambiental positivo sobre el manejo y recuperación del agua de lluvia, bajos costos y puede realizarse en centro urbano.

#### **4.2. Ventajas y desventajas**

El uso de pozos de infiltración se ha desarrollado durante varios años en sistemas de drenaje agrícola, en infiltración de aguas de lluvias y en urbanizaciones; sin embargo, no se ha logrado masificar su uso debido a que no se han documentado las experiencias, y a la carencia de reglamentos y/o estímulos para su aplicación.

Dado que en el medio se conocen propuestas de tecnologías que no han sido comprobadas y no existen registros fiables documentados o en archivo, existe una falta de consenso sobre la elección de los modelos y los parámetros a utilizar en forma adecuada. Existen algunas interrogantes:

- Criterios de selección del sitio
- Parámetros para su diseño
- Datos de infiltración
- Funcionamiento, mantenimiento y monitoreo
- Medición de niveles de contaminación
- Cálculo de vida útil
- Costo beneficio del sistema

#### **4.2.1. Ventajas del sistema propuesto**

- Capta y disminuye el caudal máximo y el volumen de la escorrentía que se presentan en el área de influencia.
- Permite la recarga de las agua subterráneas.
- Puede ser aplicable en zonas donde el estrato del suelo superior es poco permeable, pero presenta una mayor capacidad de infiltración en las zonas más profundas.
- En un sistema de captación, es posible combinar los pozos de infiltración con la construcción de obras hidráulicas: tanques de retención, zanjas y estanques de infiltración.
- Se pueden integrar a condiciones urbanas, ya que son poco visibles.
- No tienen limitaciones topográficas para su instalación y utilizan solo una pequeña parte del suelo.
- Bajos costos de construcción.

#### **4.2.2. Desventajas del sistema propuesto**

- Problemas de colmatación cuando ingresa partículas finas a su interior. Para evitarlo se debe instalar un filtro o un decantador antes de la entrada al pozo para retener los finos presentes en el agua.
- Son difíciles de mantener y monitorear, por lo tanto, es posible que su desempeño se vea mermado o disminuido con el tiempo.
- Su capacidad de almacenamiento se limita a lo largo de su vida útil a causa de la impermeabilización de sus paredes y a la disminución de la capacidad de absorción del suelo saturándose.
- Existe un riesgo de contaminación las napas subterráneas cuando éstas se encuentran cerca de la superficie, en suelos muy permeables.

#### **4.3. Componentes del sistema propuesto**

Se refiere a los componentes utilizados en una red de alcantarillado y drenajes comunes, los cuales se enumeran y describen a continuación:

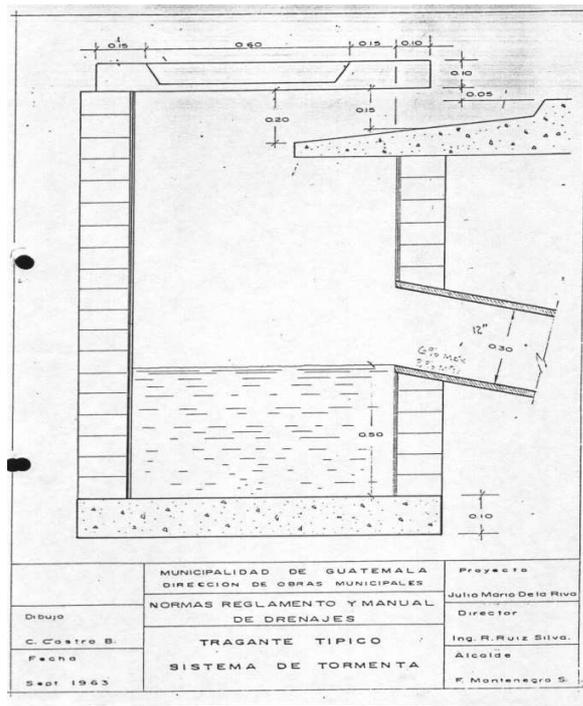
##### **4.3.1. Tragantes**

Son las estructuras encargadas de recoger el agua de lluvia que escurre por las calles.

Los tragantes cuentan con una capacidad para interceptar el caudal que corre por la calle. Un tragante ubicado en un punto bajo de una calle, captará eventualmente toda el agua pluvial del sector.

Esta infraestructura se encuentra normada en el *Reglamento para diseño y construcción de drenajes para la ciudad de Guatemala* en el capítulo II, inciso 207, 207-a) al 207-e).

Figura 24. Esquema de tragante



Fuente: Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes para la ciudad de Guatemala*. p. 74

#### 4.3.2. Pozo de absorción

Un pozo de absorción es una perforación en la tierra, generalmente de forma cilíndrica, de radio y profundidad elegidos a criterio del constructor, utilizado para drenar agua a través de toda su estructura hacia las capas subterráneas del suelo.

Los pozos de absorción pueden estar protegidos o no de algún material. El relleno generalmente consiste en grava o ripio los cuales son permeables, lo cual contribuye a evitar la erosión producto de la precipitación del flujo de agua en el conducto.

En otros casos, el pozo de absorción carece de relleno por lo cual su interior es área libres en su interior lo cual que funciona como un área de almacenamiento previo a que inicie la etapa de filtración.

Figura 25. **pozo de absorción**

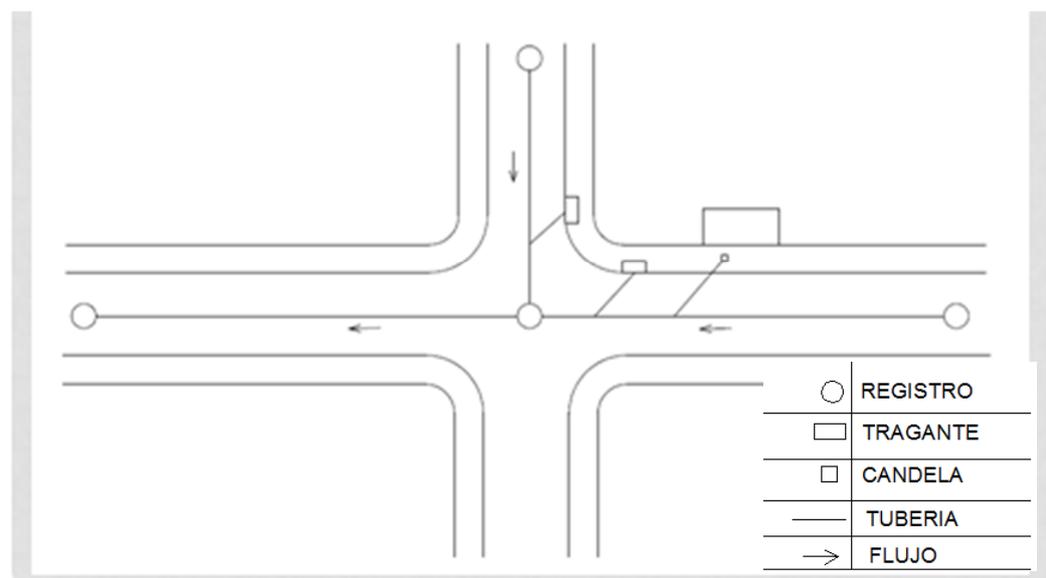


Fuente: elaboración propia.

### 4.3.3. Red de alcantarillado y drenaje

Es el conjunto de tuberías o conductos cerrados que normalmente trabajan como canales a través de los cuales corren, solas o combinadas, las agua cloacales y/o pluviales.

Figura 26. Esquema red de alcantarillado y drenaje

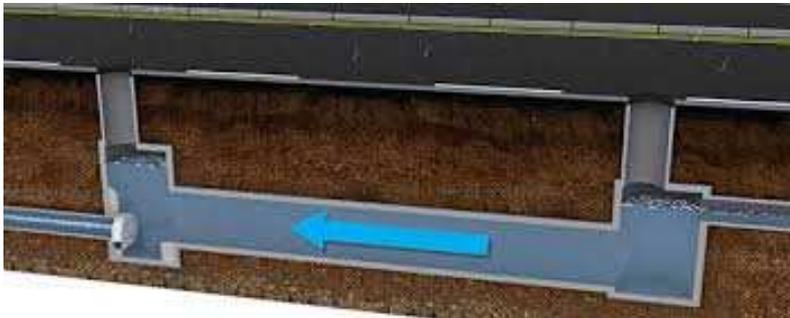


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD

#### 4.3.4. Ramales principales o tuberías centrales

Son los conductos que colectan las aguas cloacales, pluviales o ambas y que están situados en el centro de las calles.

Figura 27. **Esquema ramales principales**



Fuente: elaboración propia, empleando paint.

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA

### 5.1. Parámetros de diseño

Según el *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes para la ciudad de Guatemala*, se utilizarán los siguientes parámetros:

- Coeficiente de escorrentía para asfalto = 0.90 adimensional
- Intensidad de lluvia = 200 mm/hr
- Área tributaria del sistema = 0.062 Ha (se adoptará específicamente para el estudio, solamente el agua que escurre. No se toma en cuenta el área de techos la cual ingresa en la tubería municipal). Ver figura 28.

Figura 28. Área tributaria



Fuente: elaboración propia, empleando paint.

Se utilizará el método racional para calcular el caudal de diseño:

$$Q = CIA / 0.360$$

Dónde:

Q=caudal de diseño (litros/seg)

C=valor de escorrentía (adimensional)

I=intensidad de lluvia (mm/h)

A= área (ha)

Aplicando fórmula se tiene:

$$Q = (0.90)(200\text{mm/h})(0.062\text{ha}) / 0.360$$

$$Q = 31 \text{ litros / seg}$$

Tasa de infiltración:

Se realizaron varias pruebas en el lugar con el método que se indica en la tabla I.

Se obtiene lo siguiente:

Con un tiempo de absorción promedio de 30 minutos se obtiene un coeficiente de absorción del terreno de 52.5 litros/m<sup>2</sup>/día.

## 5.2. Diseño detallado

Para el diseño de un pozo de absorción se deben de tomar en cuenta ciertos aspectos para no contaminar el manto freático y no dañar los terrenos aledaños al pozo. Los aspectos a considerar según apuntes obtenidos en el curso de saneamiento ambiental son los siguientes:

- Debe ubicarse a un nivel más bajo que los puntos de toma de agua.
- El fondo del pozo debe estar a 1.50 metros mínimo del nivel freático.
- Cuando existe más de un pozo de absorción, la distancia mínima entre circunferencias es 3 veces el diámetro o 6 veces el diámetro si los pozos tienen una profundidad mayor a 6 metros.
- Se recomienda un diámetro entre 1.00 y 2.50 metros.

Para realizar el diseño se utilizarán los siguientes valores:

- Caudal de diseño = 31 litros / seg.
- El terreno absorbe a un promedio de 0.00053 litros / m<sup>2</sup> / seg.

Debido a que el objetivo del pozo de absorción no es captar todo el caudal que escurre por la superficie del lugar y la función del pozo será captar un porcentaje del agua pluvial para la recarga de acuíferos, se tomarán en cuenta los siguientes aspectos:

- La función principal del pozo de absorción es captar el agua pluvial que la red municipal no logre conducir y que pueda provocar inundaciones.
- El pozo de absorción evitará inundaciones cuando existan precipitaciones copiosas.
- No toda el agua pluvial que ingrese al tragante se conducirá al pozo de absorción, solamente el agua pluvial que pueda provocar inundaciones
- Debido a que el caudal de diseño es mayor al caudal que el pozo de absorción es capaz de absorber, se propone un pozo de absorción, y con base en el mismo se calculará el número de pozos que se necesitarían en el lugar para poder captar el agua pluvial del sector.

Datos del pozo propuestos:

- Diámetro = 1.5 metros
- Profundidad = 18 metros

Cálculo del perímetro de pozo:

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$\text{Perímetro} = 2 \cdot \pi \cdot 0.75\text{m}$$

$$\text{Perímetro} = 4.72\text{m}$$

Cálculo del área de infiltración:

$$\text{Área infiltración} = \text{perímetro} \cdot \text{altura}$$

$$\text{Área infiltración} = 4.72\text{m} \cdot 18\text{m}$$

$$\text{Área infiltración} = 84.96 \text{ m}^2$$

Si el pozo de absorción permite infiltrar 0.00053 litros / seg / m<sup>2</sup>, se obtiene lo siguiente:

Si un metro cuadrado absorbe 0.00053 litros / seg / m<sup>2</sup> y el área de infiltración de cada pozo es 84.96 m<sup>2</sup>:

Entonces:

El pozo absorbe 0.047 litros / seg.

El caudal de diseño es de 31 litros / seg, por lo que se necesitarían 660 pozos de absorción para poder absorber toda el agua pluvial del sector.

El problema del sector son las inundaciones que se producen durante una tormenta intensa, que podrían aprovecharse para recargar los acuíferos, y a su vez evitar las inundaciones en el sector. Estas inundaciones suceden debido a que la tubería municipal no tiene la capacidad de conducir esta cantidad de agua pluvial.

Los parámetros de diseño indican que no es posible construir la cantidad de pozos de absorción que se necesitan en el lugar para poder absorber la totalidad del agua pluvial del sector, ya que el mínimo de separación entre pozos de absorción es de 6 veces el diámetro, lo que impide su construcción.

### **5.3. Período de diseño**

Para el cálculo de la intensidad de lluvia deberán usarse los métodos convencionales establecidos.

El sistema de pozos de absorción será proyectado para cumplir adecuadamente su función, durante un periodo comprendido entre los 20 a 30 años a partir de la fecha de su construcción.

La vida útil de los pozos de absorción, dependerá del mantenimiento y su funcionamiento; por lo tanto es recomendable realizar inspecciones antes, durante y al final del invierno para poder verificar el estado de su estructura.

Asimismo, la vida útil del pozo de absorción está ligada a varios aspectos que se indican a continuación:

- Comportamiento del nivel freático
- Intensidad de lluvia en el lugar
- Características del suelo y subsuelo
- Mantenimiento

#### 5.4. Cálculo de caudales

Las áreas tributarias se calcularon en hectáreas.

Solamente se tomó en cuenta la escorrentía que escurre por el asfalto y llega al punto en estudio. El agua que escurre por los techos no se tomó en cuenta debido a que ingresa al sistema de alcantarillado y no influye en este estudio.

Con el método racional para calcular el caudal de diseño se obtienen los siguientes resultados:

$$Q=C.I.A. /0.360$$

Donde:

Q=caudal de diseño (litros/seg)

C=valor de escorrentía (adimensional)

I=intensidad de lluvia(mm/h)

A = área (ha)

## **5.5. Especificaciones de construcción**

La construcción del pozo de absorción la realizará personal calificado para la excavación de pozos, construcción de muros con ladrillo tayuyo (0.11 x 0.065 x 0.23 m) en soga. La construcción se realizará según los parámetros de diseño que se muestran en el plano 2/2 en los anexos, respetando lo siguiente:

- El pozo de absorción tendrá un diámetro interno 1.5 metros que ayudará a contar con un área adecuada para el buen funcionamiento del pozo, así como la facilidad para su construcción, supervisión y mantenimiento.
- La profundidad del pozo será variable según la altura del manto freático, el tipo de suelo, o los parámetros de diseño indicados anteriormente. En el estudio se utilizó la profundidad de 18 metros de altura, debido a que ya no se dieron cambios en las propiedades de filtración del terreno.
- La construcción de los muros se realizará con ladrillo tayuyo (0.11 x 0.065 x 0.23 m) en soga, solo se colocará mortero en las puntas de cada ladrillo para facilitar la circulación de agua entre los ladrillos.
- Entre el muro del pozo de absorción y el muro de ladrillo tayuyo (0.11 x 0.065 x 0.23 m) se colocará pedrín de 1/2" a 1", que servirá de filtro para el agua, con lo cual se evitará la contaminación del manto freático

- Se colocará una tapadera de concreto polimérico de resistencia de 20 toneladas con un diámetro de 0.60 m para facilitar el mantenimiento.

## **5.6. Manual de operación y mantenimiento**

Para garantizar la durabilidad y el buen funcionamiento del pozo de absorción se requiere mantener una supervisión y observación del estado de su estructura. Aunque su mantenimiento es casi nulo, se requiere de una detallada observación de, al menos, 2 veces por año, para comprobar su adecuado estado de filtración y comprobar que no se presenten derrumbes. Este mantenimiento es necesario que se lleve a cabo antes, durante y al final del invierno. Si se presentará una tormenta tropical, un frente de baja presión o cualquier fenómeno meteorológico que aumente la intensidad de la lluvia, se debe observar detalladamente al final del fenómeno el estado del pozo. En cada visita se tendrá que realizar lo siguiente:

- Llevar una bitácora detallada y documentada fotográficamente.
- Limpiar el tragante o desarenador en el que se deposita con facilidad cualquier tipo de basura o sólidos de arrastre. En la primera lluvia es notoria esta situación por lo que es necesario limpiarlo en forma adecuada para que su funcionamiento sea óptimo.

- Revisar el tubo de conducción del tragante al pozo de absorción, el que siempre tiene que estar libre por lo cual se debe revisar y limpiarlo.
- La revisión de la estructura de las paredes de ladrillo del pozo se puede realizar de 2 formas:
  - Revisar con una linterna las paredes y el fondo del pozo para verificar que no existan desprendimientos de ladrillos.
  - Introducir una cámara. Esta opción es la más recomendable ya que permitirá ver a detalle el estado de las paredes del pozo. Si existiera un desprendimiento de ladrillo habría que bajar al pozo para realizar la reparación.
- Es importante revisar el nivel de agua en el pozo. En época de verano no debería existir agua ya que debe infiltrarse y en invierno no tendría que acumularse el agua, por la misma razón, mientras exista permeabilidad.
- Si existiera agua en el pozo durante la época de verano significaría que sus paredes se impermeabilizaron, por lo que el pozo se saturó al 100%, lo que obliga a desconectar el tragante del pozo y rellenarlo. Esta situación obligaría a buscar una nueva ubicación para un nuevo pozo según las normas de construcción de pozos de absorción.



## **6. CONSTRUCCIÓN**

### **6.1. Supervisión**

La supervisión es una parte integral de cualquier proyecto de construcción, por lo cual el sistema propuesto requiere la observación o supervisión en una forma continua. Esta actividad debe realizarse desde la planificación inicial, en la cual se toma la decisión del lugar donde será construido el pozo de absorción, por lo que en su realización se debe llevar el registro de este proceso el cual se detalla a continuación:

- Se procede a investigar y verificar el lugar donde se construirá el pozo de absorción para evitar encontrar cualquier obra que pudiera complicar su buen funcionamiento. En el caso específico de este estudio, el sector cuenta con un sistema de alcantarillado que puede ubicarse y referenciarse topográficamente para evitar que en el proceso de excavación se interfieran.

Figura 29. **Área de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

- Se procede a marcar con estaca el punto donde se excavará el pozo.
- Tomando como centro la estaca, se traza el círculo con radio igual al del pozo, más su ancho de revestimiento previsto.
- El pozo se realiza en forma circular para evitar derrumbes.
- Se fija con seguridad el marco de madera con parales de 4"X4"X3.5 m. Con ayuda de una plomada se trasfiere el centro del pozo, se procede a colocar una garrucha (polea) en el centro, se utilizará cable de 1" para extraer material y para facilitar el ingreso de personal al área de trabajo. Se procede a construir en la orilla del pozo un brocal de una hilera de *block* de 20X20X40 cm, para impedir que ingrese la escorrentía de lluvia al pozo y lo derrumbe, así como para su seguridad.

Figura 30. **Marco de madera**



Fuente: elaboración propia.

- El proceso de excavación de pozo se realiza en forma manual con el uso de picos y palas, con una profundidad de 18 metros.

Figura 31. **Proceso de excavación**



Fuente: elaboración propia.

- Al concluir la etapa de excavación se procederá a revestir el pozo con ladrillo tayuyo en sogá, se colocará mortero únicamente en puntas.

Figura 32. **Ladrillo tayuyo en sogá**



Fuente: elaboración propia.

- En este diseño se colocará piedrín entre pared de ladrillo y pared de pozo de absorción.

Figura 33. **Piedrín entre pared y ladrillo**



Fuente: elaboración propia.

- Al concluir la altura de revestimiento de ladrillo y pedrín se procede a colocar en el interior del pozo un tubo de diámetro de 8 pulgadas de concreto que conecta el tragante con el pozo de absorción.

Figura 34. **Conexión tragante pozo de absorción. Foto 1**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Conexión tragante pozo de absorción. Foto 2**



Fuente: elaboración propia.

- Luego se procede a la reducción del último metro y medio (1.5 metros) del pozo a la superficie por un cono de diámetro final de 0.60 m de diámetro para luego proceder a la colocación de tapadera de concreto polimérico de 0.60 m para su control y monitoreo.

Figura 36. **Tapadera pozo de absorción**



Fuente: elaboración propia.

- Como parte final se procede a la limpieza del lugar.

Figura 37. **Lugar de trabajo terminado**



Fuente: elaboración propia.

## **6.2. Evaluación de resultados**

La construcción del sistema se finalizó en octubre de 2013. Al efectuar una evaluación del sistema, realizada en el sector objeto de estudio en el mes de octubre en los años 2014 y 2015, después de la época de lluvia se pudo comprobar su efectividad a través de la evaluación cualitativa con la disminución de las inundaciones y en el estado físico del sistema.

Si se toma en cuenta que si el sistema no funciona lógicamente se saturan las paredes y se llena el pozo y la caja de captación, se comprobó en una inspección visual que el sistema estaba completamente seco y en buen estado, luego de un período de lluvia, lo que permite inferir que cumplió con su función.

La contribución significativa del modelo propuesto estará en función de la masificación en la red de alcantarillado de la ciudad; es decir, este proyecto no se circunscribe a un sector determinado sino que busca desarrollarse en todos aquellos puntos de la ciudad, inicialmente, donde se ha identificado algún problema de inundaciones por falta de capacidad de captación y conducción de la red de alcantarillado; y luego en cada uno de los tragantes para prolongar la vida útil del sistema de alcantarillado, que en muchos casos está obsoleto por el incremento de la población tributaria.

La contribución de este modelo de recarga del nivel freático del valle de la ciudad de Guatemala podrá evaluarse cualitativa y cuantitativamente al masificarse su implementación y con la observancia de la variación de los niveles freáticos de las diferentes cuencas, a través del sistema de explotación, tanto privado como público, del agua subterránea. Cabe mencionar que el comportamiento histórico del nivel estático del agua va en decrecimiento a tal grado que en algunos casos se ha tenido que suspender y abandonar la

explotación del agua subterránea por descensos importantes. Asimismo, es de hacer notar que el comportamiento del descenso de los niveles estáticos del agua no es igual en todas las cuencas de la ciudad, pues depende de la formación geológica la cual es variable.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó y construyó un sistema para la recarga de acuíferos en la 23ª avenida y 5ª calle zona 7 colonia Kaminal Juyú I de la ciudad capital.
2. Es posible aprovechar la infraestructura de alcantarillado existente para implementar proyectos de infiltración de agua pluvial al subsuelo, para contribuir con la recarga de los acuíferos del valle de la ciudad de Guatemala.
3. La capacidad de absorción del subsuelo dependerá de sus características, tipo y morfología, lo que implicará mayor o menor volumen de agua capaz de ser infiltrada. En el caso estudiado, aunque el suelo está conformado de laja, depósito de caída y paleo suelo, poco recomendados para este proceso de infiltración, se comprobó su eficiencia mediante la contribución sustantiva del proceso de inundaciones en el sector.
4. Con la implementación de este tipo de proyectos, en puntos estratégicos de la red de alcantarillado, como beneficio directo, es posible resolver problemas puntuales de inundaciones provocadas por la falta de capacidad de la infraestructura del alcantarillado existente.

5. Con la metodología propuesta de la estructura del pozo de absorción, facilita la infiltración y se evitan los efectos negativos de erosión de las paredes del pozo y la formación de cavernas que puedan poner en riesgo su infraestructura y el cumplimiento de su función.
6. Los volúmenes de agua a infiltrar estarán en función del tipo de suelo, su capacidad de absorción y número de pozos a ser construidos en un sector determinado.
7. La estructura propuesta no afecta ni altera el normal funcionamiento del sistema de alcantarillado existente, solo aprovecha este sistema para cumplir con el objetivo propuesto de recarga de acuíferos.
8. Dada su efectividad, la implementación de este tipo de proyectos recibe el beneplácito de los vecinos que sufren los efectos de las inundaciones en el sector, por lo que logra los consensos necesarios entre autoridades municipales y población beneficiada.
9. El proyecto puede ser replicado en puntos estratégicos de la ciudad, donde históricamente se han registrado inundaciones por falta de capacidad de la red de alcantarillado. Se contribuyendo así en forma significativa con la disponibilidad de agua en los mantos acuíferos y su aprovechamiento para el abastecimiento de agua para la ciudad de Guatemala.

## RECOMENDACIONES

1. Fomentar la implementación de este tipo de proyectos para recarga de los acuíferos en el valle de la ciudad de Guatemala
2. Este tipo de proyectos requerirá de un constante monitoreo y control para determinar con anticipación el posible deterioro de su infraestructura y minimizar los costos de operación y mantenimiento.
3. Realizar estudios complementarios que permitan cuantificar la contribución de cada sistema implementado, promuevan su retroalimentación y permitan determinar el costo-beneficio de estos proyectos.
4. Para la implementación de este tipo de proyectos y para lograr sus mayores y mejores resultados, se recomienda contar con un estudio de suelos que determine los estratos con mayor permeabilidad y de esa forma obtener la mayor eficiencia por unidad construida y mejorar el costo-beneficio.
5. Incorporar las mejoras al sistema en función de la experiencia acumulada en el control y monitoreo de este tipo de pozos.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Empagua. Dirección de sistemas de producción de agua potable, mayo 2016. Bitácoras de inspección de pozos años 2000-2016.
2. LOPEZ MARTINEZ, Marco Vinicio. *Diseño de la red de alcantarillado combinado de la colonia lavarreda zona 18*. trabajo de graduación Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986, p. 73
3. Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes*. Guatemala: Dirección de Aguas y Drenajes, 1983, p. 20
4. Municipalidad de Guatemala. *Historia de Empagua*, [en línea]. <http://www.muniguate.com/muni/entidades-municipales/empagua/> [Consulta: marzo de 2016].
5. SÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspección de colectores, en la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. Trabajo de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2010. p. 78
6. UNDA OPAZO, Francisco. *Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública*. 1ª ed. México: Editorial Hispano Americana, 1969, p. 870

7. VELASQUEZ MONZON, Enrique. *Estudio de los niveles freáticos en el valle de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1995. p. 65

## APÉNDICE

### Apéndice 1. **Costos del sistema construido**

#### Materiales

- Ladrillo tayuyo

Se utilizarán ladrillos tayuyo de 0.11x0.65x0.23 m. Si se toma en cuenta que la altura del ladrillo es de 0.11 m. y la altura del mortero será aproximadamente de 0.01 m. se obtiene lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Altura de ladrillo} + \text{altura de mortero} &= \text{altura de cada hilada de ladrillo} \\ 0.11\text{m} + 0.01\text{m} &= 0.12 \text{ m} \end{aligned}$$

El pozo tiene una altura de 18 m. y cada hilada una altura de 0.12 m, de donde se obtiene lo siguiente.

Altura de pozo de absorción / altura de hilada = cantidad de hiladas de ladrillo

$$18 \text{ m.} / 0.12 \text{ m.} = 150 \text{ hiladas}$$

El pozo de absorción contará con 150 hiladas de ladrillo tayuyo y cada hilada contará con 23 ladrillos tayuyo de donde se obtiene lo siguiente:

Continuación apéndice 1.

Cantidad de hiladas de ladrillo tayuyo \* cantidad de ladrillos por hilada =  
cantidad de ladrillos a utilizar

$$150 \text{ hiladas} * 23 \text{ ladrillos/hilada} = 3450 \text{ ladrillos}$$

Para recubrir la totalidad del pozo de absorción se requiere la cantidad de  
3450 ladrillos tayuyos.

- Piedrín

Para calcular el volumen del piedrín a utilizar, se calculará el volumen del  
pozo. Para calcular el volumen de un cilindro se utilizará la siguiente fórmula:

$$V = \pi/4(D1^2 - D2^2) * h$$

Donde:

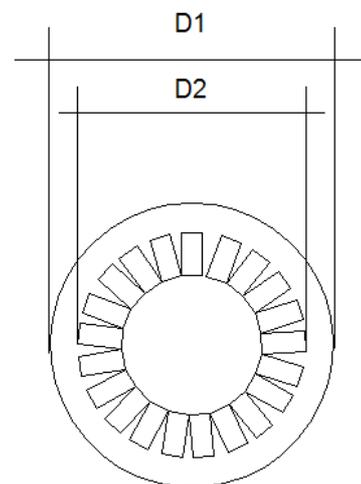
V= volumen del cilindro (m<sup>3</sup>)

$\pi = 3.151416$

D1= diámetro del cilindro 1 (m)

D2= diámetro del cilindro 2 (m)

h= altura del cilindro (m)



Con la aplicación de la fórmula se tiene:

$$V = \pi/4 * (1.5^2 \text{ m}^2 - 1.2^2 \text{ m}^2) * 18\text{m} = 11.37 \text{ m}^3 \text{ de piedrín}$$

Continuación apéndice 1.

Como existe una separación entre ladrillos en la cual ira pedrín, se calculará esa pequeña área. El área de separación entre ladrillos forma un triángulo por lo que se utilizará la siguiente fórmula para calcular dicho espacio.

$$V=1/2 * b * h$$

Donde:

V= volumen del triángulo (m<sup>3</sup>)

b= base del triángulo (m<sup>3</sup>)

h=altura del triángulo (m)

Con la aplicación de la fórmula se tiene:

$$V= \frac{1}{2} * 0.05 * 0.11 = 0.00063 \text{ m}^3 \text{ de pedrín}$$

$$0.00063 \text{ m}^3 * 22 \text{ triángulos} = 0.013 \text{ m}^3 \text{ de pedrín}$$

$$0.013 \text{ m}^3 * 150 \text{ hiladas} = 2.08 \text{ m}^3 \text{ de pedrín}$$

Total de pedrín = pedrín de circunferencia + pedrín en triángulos entre ladrillos

$$\text{Total de pedrín} = 11.37 \text{ m}^3 + 2.08 \text{ m}^3 = 13.45 \text{ m}^3 \text{ de pedrín}$$

Se utilizarán 13.45 metros cúbicos de pedrín en el pozo de absorción.

Continuación apéndice 1.

## Estimación de cantidades de trabajo

### Cantidades de trabajo

| <b>Descripción</b>                          | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> |
|---|-----------------|---------------|
| Limpieza, chapeo                            | 5               | m             |
| Excavación de pozo de absorción             | 18              | m             |
| Colocación de ladrillos tayuyo              | 3470            | unidades      |
| Elaboración de cono de pozo de absorción    | 1               | unidad        |
| Colocación de tubería de 8 pulgadas         | 1               | m             |
| Modificación de tragante                    | 1               | unidad        |
| Colocación de tapadera de pozo de absorción | 1               | unidad        |

Continuación apéndice 1.

## Estimación del presupuesto

### Presupuesto pozo de absorción

| No. | DESCRIPCIÓN                           | CANT. | UNI       | P.U. (Q.) | TOTAL (Q) |
|-----|---------------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|
| 1   | MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN            |       |           |           |           |
|     | Ladrillo tayuyo de 6.5 x 11 x 23 cms. | 3.450 | ladrillos | 2,75      | 9.487,50  |
|     | Arena de río                          |       | m3        | 140,00    |           |
|     | Piedrín de 3/4 "                      | 13.45 | m3        | 165,00    | 2219.25   |
|     | Tapadera plástica para pozo           | 1     | unidad    | 1400,00   | 1.400,00  |
|     | Cemento tipo portland gris, 3000 psi  |       | Sacos     | 86,00     |           |
|     | Tubo de cemento de Ø 8" x 1.00 m.     | 1     | unidad    | 120,00    | 120,00    |
|     |                                       |       |           |           |           |
|     |                                       |       |           |           |           |
|     |                                       |       |           |           |           |
|     | TOTAL                                 |       |           |           | 13,226.75 |

| No. | DESCRIPCIÓN                        | CANT. | UNIDAD | P.U. (Q.) | TOTAL (Q) |
|-----|------------------------------------|-------|--------|-----------|-----------|
| 2   | MANO DE OBRA                       |       |        |           |           |
|     | Limpieza y chapeo                  | 4     | MI     | 4,95      | 19,80     |
|     | Elaboración de pozo                | 18    | MI     | 175,00    | 3.150,00  |
|     | Colocación de ladrillos tayuyos    | 3450  | unidad | 2,60      | 8.970,00  |
|     | Colocación de tubería de Ø 8" TC   | 1     | unidad | 20,00     | 20,00     |
|     | Colocación de tapadera de registro | 1     | unidad | 50,00     | 50,00     |
|     | Acarreo de material                | 30    | m2     | 15,00     | 450,00    |
|     |                                    |       |        |           |           |
|     | Mano de obra                       |       |        |           | 12.659,80 |
|     | Prestaciones                       |       |        |           | 8.228,87  |

Continuación apéndice 1.

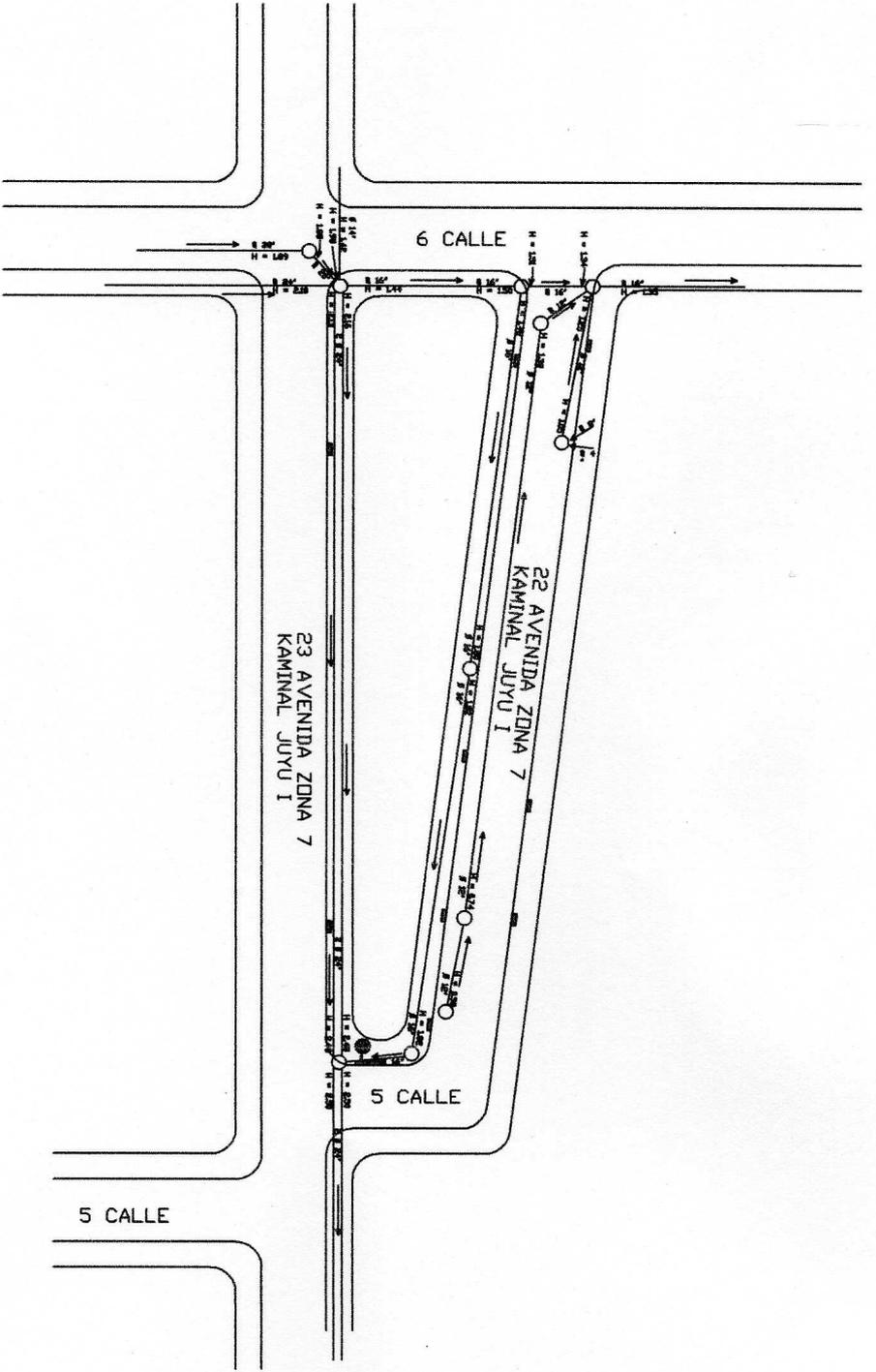
|   |  |   |        |         |           |
|---|--|---|--------|---------|-----------|
|   | TOTAL  |   |        |         | 20.888,67 |
| 3 | VARIOS                                       |   |        |         |           |
|   | Vehículos para transporte de material<br>10% | 1 | Global | 3504.44 | 3504.44   |
|   | Herramienta y equipo<br>10%                  | 1 | Global | 3504.44 | 3504.44   |
|   | Supervisión<br>15%                           | 1 | Global | 5256.66 | 5256.66   |
|   | Imprevistos<br>5%                            | 1 | Global | 1752.22 | 1.752,22  |
|   | Gastos generales<br>4%                       | 1 | Global | 1401.77 | 1.401,77  |
|   | TOTAL  |   |        |         | 15.419.52 |
|   |  |   |        |         |           |

| RESUMEN |                            |           |
|---------|----------------------------|-----------|
|         |                            |           |
| 1       | MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN | 13,226.75 |
| 2       | MANO DE OBRA               | 20,888,67 |
| 3       | VARIOS                     | 15,419.52 |
|         |                            |           |
|         | TOTAL                      | 50,463.89 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Planos de diseño de pozo de absorción**

Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD

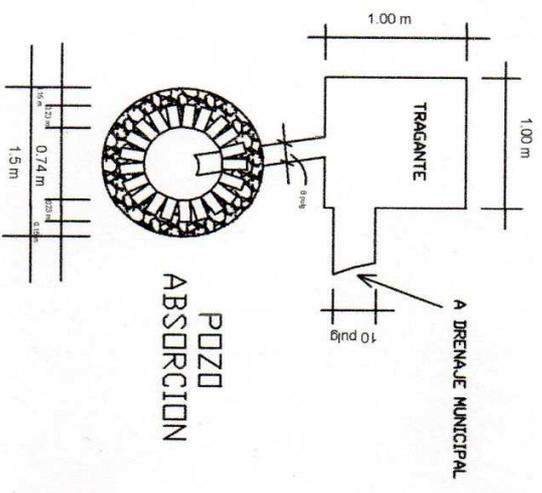


| NOMENCLATURA |                    |
|--------------|--------------------|
| —            | SIGNIFICADO        |
| ○            | POZO DE ABSORCIÓN  |
| ●            | REGISTRO           |
| ○            | TRAVANILE          |
| →            | DIRECCIÓN DE FLUJO |
| —            | TUBERÍA            |

**PLANTA**

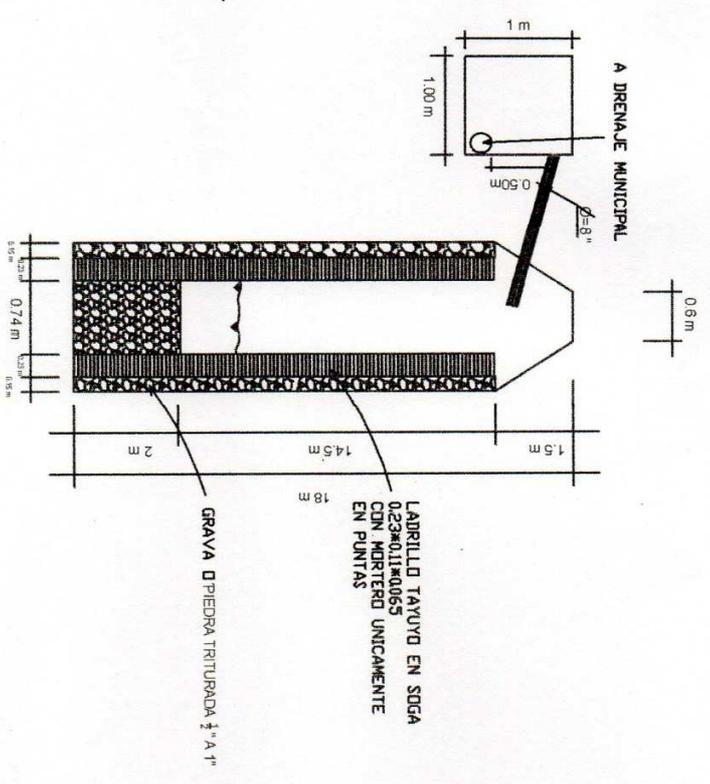
ESC. 1/200

|   |  |
|---|--|
| <b>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</b><br>FACULTAD DE INGENIERIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL |  |
| PROYECTO<br>RECONSTRUCCIÓN DE ACUEDUCTOS<br>MECÁNICA DE INFLUENCIA                        | <b>PLANTA</b><br>RED DE DRENAJES 23 AVENIDA<br>Y 5 CALLE ZONA 7 KAMINAL JUYU I |
| DISEÑO<br>JUAN JOSÉ SAMAYOA   | FECHA<br>OCTUBRE 2016  |
| DIBUJO<br>JUAN JOSÉ SAMAYOA   | ESCALA<br>1/200  |



# PLANTA

SIN ESC.



# PERFIL

SIN ESC.

|  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS<br>FACULTAD DE INGENIERIA<br>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL |                                   |
| PROYECTO DE ACUERDOS<br>MEDIANTE ENTENDIMIENTO                                     | PLANTA - PERFIL<br>POZO ABSORCION |
| DISEÑO<br>JUAN JOSE SAMAYOA  | ESCUELA<br>INGENIERIA             |
| DISEÑO<br>JUAN JOSE SAMAYOA  | FECHA<br>OCTUBRE 2018             |
| DISEÑO<br>JUAN JOSE SAMAYOA  | PAGINA<br>2                       |