



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

**INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO,  
ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**

**Ana Lucía Martínez Arriola**

Asesorado por la Inga. Christa Classon de Pinto

Guatemala, julio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO,  
ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA**

ASESORADO POR LA INGA. CHRISTA CLASSON DE PINTO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, JULIO 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. Pedro Antonio Aguilar Polanco          |
| EXAMINADOR | Ing. Juan Carlos Linares Cruz               |
| EXAMINADOR | Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera        |
| EXAMINADOR | Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López           |

## 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:

### INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 19 de noviembre de 2015.



Ana Lucía Martínez Arriola



Guatemala, 11 de mayo de 2016.  
REF.EPS.DOC.337.05.16

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

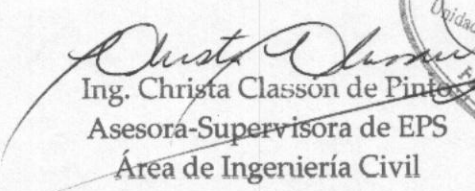
Estimado ingeniero Montenegro:

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria Ana Lucía Martínez Arriola con carné No. 201213046, de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular me es grato suscribirme.

Atentamente,  
*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Christa Classon de Pineda  
Asesora-Supervisora de EPS  
Área de Ingeniería Civil



cc. Archivo  
CdRCdP/ra



**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,  
18 de mayo 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 **INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ** desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Ana Lucía Martínez Arriola, con Carnet No.201213046 , quien contó con la asesoría de la Inga. Christa Classon de Pinto.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área 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. Rafael Enrique Morales Ochoa  
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





Guatemala, 19 de mayo de 2016.  
Ref.EPS.D.226.05.16

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

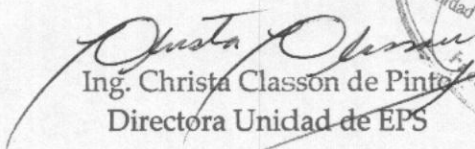
Estimado ingeniero Montenegro:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) titulado **INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA SACATEPÉQUEZ**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Ana Lucía Martínez Arriola, carné 201213046**, quien fue debidamente asesorado supervisado por el Inga. Christa Classon de Pinto.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo Asesora – Supervisora y Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular me es grato suscribirme.

Atentamente,  
*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Ing. Christa Classon de Pinto  
Directora Unidad de EPS



CdRCdP/ra  
cc. Archivo



**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 de la Asesora y Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación de la estudiante Ana Lucía Martínez Arriola, titulado **INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio 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.303.2016

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: **INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Lucía Martínez Arriola**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

9/07/16  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, julio de 2016

/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser mi motivación y otorgarme la oportunidad de cumplir mis metas. Por nunca dejarme vencer y ser la luz de mi vida.

### **Mis padres**

Estuardo Martínez y Sandra Arriola, por su dedicación, tiempo y amor, lo cual será siempre mi inspiración. Por animarme a seguir mis sueños y enseñarme a luchar por ellos.

### **Mis hermanos**

María Celeste y José Estuardo Martínez Arriola, por ser una importante influencia en mi carrera, animarme, acompañarme, y recordarme la importancia del trabajo en equipo con responsabilidad y alegría.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

|                                               |                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dios</b>                                   | Por estar presente en mi vida y permitirme finalizar mi carrera.                                                                                                                                                                            |
| <b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b> | Por ser una importante influencia en mi carrera, instruirme y prepararme para el futuro.                                                                                                                                                    |
| <b>Facultad de Ingeniería</b>                 | Por ser la sede de mi formación y una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.                                                                                                                                               |
| <b>Mi familia</b>                             | Por confiar en mí, acompañarme en cada etapa y motivarme a continuar. Por ser fuente de alegría y enseñarme lo importante que es el equipo.                                                                                                 |
| <b>Mis amigos de la Facultad</b>              | Mauricio Vargas, Freddy Lorenti, Chloé Aelvoet, Julio Álvarez, Silvio Urizar, Alejandro López, Fernando Andrino, y todos mis amigos que me acompañaron en esta aventura, por motivarme, regalarme momentos increíbles y por todo su cariño. |
| <b>Inga. Christa Classon</b>                  | Por su apoyo y asesoría en la elaboración de mi proyecto de graduación y acompañarme en la aventura del EPS.                                                                                                                                |

**Ing. Mario Rodolfo Corzo**

Por sus consejos, amistad, asesoría, formación brindada, y apoyo para resolver dudas y problemas a lo largo de mi vida universitaria.

**Autoridades de la  
Municipalidad de  
Antigua Guatemala**

Por la oportunidad de realizar el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) y por brindarme su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                                        |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LISTA DE SÍMBOLOS .....                                                                                                | VII  |
| GLOSARIO .....                                                                                                         | XI   |
| RESUMEN.....                                                                                                           | XIII |
| OBJETIVOS.....                                                                                                         | XV   |
| INTRODUCCIÓN .....                                                                                                     | XVII |
| <br>                                                                                                                   |      |
| 1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....                                                                                         | 1    |
| 1.1. Generalidades .....                                                                                               | 1    |
| 1.1.1. Ubicación y localización.....                                                                                   | 1    |
| 1.1.2. Vías de acceso .....                                                                                            | 2    |
| 1.1.3. Topografía .....                                                                                                | 4    |
| 1.1.4. Hidrografía .....                                                                                               | 4    |
| 1.1.5. Condiciones climáticas y zonas de vida .....                                                                    | 5    |
| 1.1.6. Fauna, flora y cobertura forestal .....                                                                         | 5    |
| 1.1.7. Uso potencial del suelo.....                                                                                    | 5    |
| 1.1.8. Condiciones actuales del Caserío El Astillero.....                                                              | 6    |
| 1.1.8.1. Servicios existentes .....                                                                                    | 6    |
| <br>                                                                                                                   |      |
| 2. INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL<br>ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA,<br>SACATEPÉQUEZ ..... | 9    |
| 2.1. Descripción del proyecto .....                                                                                    | 9    |
| 2.2. Estudio topográfico.....                                                                                          | 10   |
| 2.2.1. Planimetría.....                                                                                                | 10   |
| 2.2.2. Altimetría.....                                                                                                 | 10   |

|          |                                      |    |
|----------|--------------------------------------|----|
| 2.2.3.   | Levantamiento topográfico .....      | 10 |
| 2.3.     | Fuente de agua .....                 | 12 |
| 2.4.     | Caudal de aforo.....                 | 12 |
| 2.5.     | Análisis de la calidad de agua ..... | 14 |
| 2.5.1.   | Examen físico-químico sanitario..... | 15 |
| 2.5.2.   | Examen bacteriológico .....          | 15 |
| 2.6.     | Criterios de diseño .....            | 16 |
| 2.6.1.   | Período de diseño .....              | 16 |
| 2.6.2.   | Población de diseño .....            | 17 |
| 2.6.2.1. | Población futura .....               | 17 |
| 2.6.3.   | Dotación .....                       | 18 |
| 2.6.4.   | Factores de consumo .....            | 19 |
| 2.6.4.1. | Factor de día máximo.....            | 20 |
| 2.6.4.2. | Factor de hora máximo .....          | 21 |
| 2.6.5.   | Caudales de diseño.....              | 21 |
| 2.6.5.1. | Caudal medio diario .....            | 22 |
| 2.6.5.2. | Caudal máximo diario.....            | 22 |
| 2.6.5.3. | Caudal máximo horario .....          | 23 |
| 2.6.5.4. | Caudal de bombeo .....               | 24 |
| 2.7.     | Consideraciones hidráulicas .....    | 25 |
| 2.7.1.   | Tipo y clase de tubería .....        | 25 |
| 2.7.2.   | Presión estática y dinámica.....     | 26 |
| 2.7.3.   | Velocidades máximas y mínimas .....  | 28 |
| 2.8.     | Captación .....                      | 29 |
| 2.8.1.   | Diseño de presa pequeña .....        | 29 |
| 2.9.     | Ariete hidráulico .....              | 30 |
| 2.9.1.   | Altura de elevación.....             | 31 |
| 2.9.2.   | Rendimiento .....                    | 31 |
| 2.9.3.   | Caudal elevado .....                 | 32 |

|                       |                                                   |    |
|-----------------------|---------------------------------------------------|----|
| 2.9.4.                | Caudal de alimentación .....                      | 32 |
| 2.10.                 | Caja de captación .....                           | 33 |
| 2.10.1.               | Diseño de losa de cubierta caja de captación..... | 34 |
| 2.10.2.               | Diseño de muros.....                              | 40 |
| 2.10.3.               | Diseño de losa inferior del tanque .....          | 50 |
| 2.11.                 | Línea de conducción .....                         | 52 |
| 2.11.1.               | Carga dinámica total.....                         | 52 |
| 2.11.2.               | Potencia del equipo de bombeo .....               | 55 |
| 2.11.3.               | Sobrepresión o golpe de ariete.....               | 56 |
| 2.12.                 | Red de distribución .....                         | 58 |
| 2.13.                 | Tanque de almacenamiento .....                    | 62 |
| 2.14.                 | Tanque de distribución .....                      | 64 |
| 2.14.1.               | Diseño de muros.....                              | 65 |
| 2.15.                 | Conexión predial.....                             | 71 |
| 2.16.                 | Sistema de desinfección.....                      | 72 |
| 2.17.                 | Presupuesto .....                                 | 72 |
| 2.18.                 | Cronograma.....                                   | 73 |
| CONCLUSIONES .....    |                                                   | 75 |
| RECOMENDACIONES ..... |                                                   | 77 |
| BIBLIOGRAFÍA.....     |                                                   | 79 |
| APÉNDICES .....       |                                                   | 81 |
| ANEXOS .....          |                                                   | 87 |



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1.  | Ubicación del caserío El astillero.....                           | 1  |
| 2.  | Ruta Guatemala–El Astillero.....                                  | 3  |
| 3.  | Ruta Antigua Guatemala–El Astillero.....                          | 4  |
| 4.  | Placa de TRECSA, instalación de luz eléctrica .....               | 7  |
| 5.  | Carretera de acceso hacia El Astillero.....                       | 8  |
| 6.  | Calle hacia el terreno previsto para tanque de distribución ..... | 8  |
| 7.  | Ejecución del levantamiento topográfico .....                     | 11 |
| 8.  | Ejecución del levantamiento topográfico. Calle principal .....    | 11 |
| 9.  | Fuente de abastecimiento, riachuelo .....                         | 12 |
| 10. | Aforo de la fuente .....                                          | 14 |
| 11. | Toma de muestras.....                                             | 15 |
| 12. | Gráfica del desvío del caudal promedio diario.....                | 20 |
| 13. | Dimensiones de la presa, en metros .....                          | 29 |
| 14. | Diagrama de momentos .....                                        | 37 |
| 15. | Diagrama de refuerzo .....                                        | 40 |
| 16. | Muro de contención por voladizo caja de captación .....           | 41 |
| 17. | Muro en voladizo del tanque de almacenamiento .....               | 64 |
| 18. | Muro por gravedad del tanque de distribución.....                 | 66 |

## TABLAS

|        |                                                                   |    |
|--------|-------------------------------------------------------------------|----|
| I.     | Caudal aforado en periodo de precipitación pluvial. ....          | 13 |
| II.    | Caudal aforado en periodo de estiaje. ....                        | 13 |
| III.   | Períodos de diseño para componentes de un sistema de agua. ...    | 17 |
| IV.    | Dotaciones según sistema de abastecimiento. ....                  | 19 |
| V.     | Factores de día máximo .....                                      | 20 |
| VI.    | Factores de hora máximo .....                                     | 21 |
| VII.   | Tubería en línea de conducción.....                               | 25 |
| VIII.  | Tubería en red de distribución .....                              | 26 |
| IX.    | Presiones en la línea de conducción .....                         | 27 |
| X.     | Presiones en la red de distribución .....                         | 27 |
| XI.    | Velocidad línea de conducción .....                               | 28 |
| XII.   | Velocidades en la red de distribución .....                       | 28 |
| XIII.  | Factor de seguridad por deslizamiento. ....                       | 30 |
| XIV.   | Factor de seguridad por volteo. ....                              | 30 |
| XV.    | Alturas de diseño del ariete hidráulico. ....                     | 31 |
| XVI.   | Valores de rendimiento según relación de alturas analizadas. .... | 31 |
| XVII.  | Peso del muro en voladizo.....                                    | 43 |
| XVIII. | Cálculo de centroide .....                                        | 44 |
| XIX.   | Momentos actuantes en el muro.....                                | 46 |
| XX.    | Resumen diseño de tanque de almacenamiento .....                  | 63 |
| XXI.   | Peso del muro de gravedad.....                                    | 67 |
| XXII.  | Cálculo de centroide .....                                        | 68 |
| XXIII. | Momentos actuantes en el muro.....                                | 69 |
| XXIV.  | Resumen diseño de tanque de distribución .....                    | 71 |
| XXV.   | Presupuesto del sistema de agua potable .....                     | 73 |
| XXVI.  | Cronograma de inversión.....                                      | 73 |
| XXVII. | Cronograma de ejecución .....                                     | 74 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

| <b>Símbolo</b>                       | <b>Significado</b>                                 |
|--------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>H</b>                             | Altura de elevación del ariete hidráulico          |
| <b>As<sub>min</sub></b>              | Área de acero mínimo                               |
| <b>B</b>                             | Base del muro                                      |
| <b>q<sub>agua</sub></b>              | Carga de presión de agua                           |
| <b>CDT</b>                           | Carga dinámica total                               |
| <b>CU</b>                            | Carga mayorada                                     |
| <b>CM</b>                            | Carga muerta                                       |
| <b>CV</b>                            | Carga viva                                         |
| <b>Q<sub>ah</sub></b>                | Caudal de alimentación del ariete hidráulico       |
| <b>Q<sub>b</sub></b>                 | Caudal de bombeo                                   |
| <b>Q<sub>diseño</sub></b>            | Caudal de diseño                                   |
| <b>Q<sub>1</sub></b>                 | Caudal de uso simultáneo                           |
| <b>Q<sub>v</sub></b>                 | Caudal de vivienda                                 |
| <b>q</b>                             | Caudal elevado por el ariete hidráulico            |
| <b>Q<sub>dm</sub></b>                | Caudal máximo diario                               |
| <b>Q<sub>hm</sub></b>                | Caudal máximo horario                              |
| <b>Q<sub>m</sub></b>                 | Caudal medio diario                                |
| <b>Q<sub>u</sub></b>                 | Caudal unitario                                    |
| <b>α</b>                             | Celeridad de onda                                  |
| <b>PVC</b>                           | Cloruro de polivinilo                              |
| <b>C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub></b> | Coeficiente de modificación de carga viva y muerta |
| <b>C</b>                             | Coeficiente Hazen & Williams                       |
| <b>h</b>                             | Desnivel en el ariete hidráulico                   |

|               |                                                |
|---------------|------------------------------------------------|
| <b>D</b>      | Diámetro                                       |
| <b>Efi</b>    | Eficiencia del equipo de bombeo                |
| <b>Smáx</b>   | Espaciamiento máximo del acero                 |
| <b>t</b>      | Espesor de losa                                |
| <b>e</b>      | Excentricidad                                  |
| <b>FA</b>     | Factor de almacenamiento                       |
| <b>FDM</b>    | Factor de día máximo                           |
| <b>FHM</b>    | Factor de hora máximo                          |
| <b>∅</b>      | Factor de reducción, ACI                       |
| <b>Fd</b>     | Factor de seguridad de deslizamiento           |
| <b>Fv</b>     | Factor de seguridad de volteo                  |
| <b>Fs</b>     | Fuerza de sismo                                |
| <b>HG</b>     | Hierro galvanizado                             |
| <b>Kg</b>     | Kilogramo fuerza                               |
| <b>Kg – m</b> | Kilogramo fuerza por metro (unidad de momento) |
| <b>Km</b>     | Kilómetro                                      |
| <b>L</b>      | Lado analizado                                 |
| <b>m</b>      | Metro                                          |
| <b>m.c.a</b>  | Metro columna de agua                          |
| <b>m/s</b>    | Metro por segundo                              |
| <b>M+</b>     | Momento positivo                               |
| <b>M-</b>     | Momento negativo                               |
| <b>Mamin</b>  | Momento soportado por el área de acero mínimo  |
| <b>Ntv</b>    | Número total de viviendas futuras              |
| <b>Tb</b>     | Período de bombeo                              |
| <b>n</b>      | Período de diseño                              |
| <b>Pagua</b>  | Peso específico del agua                       |
| <b>Po</b>     | Población actual                               |
| <b>Pf</b>     | Población futura                               |

|              |                                        |
|--------------|----------------------------------------|
| <b>POT</b>   | Potencia de la bomba                   |
| <b>“</b>     | Pulgadas                               |
| <b>R</b>     | Rendimiento del ariete hidráulico      |
| <b>f'y</b>   | Resistencia del acero                  |
| <b>f'c</b>   | Resistencia del concreto               |
| <b>ΔP</b>    | Sobrepresión                           |
| <b>r</b>     | Tasa de crecimiento poblacional        |
| <b>Vol</b>   | Volumen                                |
| <b>Vagua</b> | Volumen de agua sobre la losa inferior |



## GLOSARIO

|                          |                                                                                                                              |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ACI</b>               | Siglas de American Concrete Institute.                                                                                       |
| <b>Aforo</b>             | Medir el volumen de agua que lleva una corriente por unidad de tiempo.                                                       |
| <b>Agua potable</b>      | Agua que, por sus características de calidad específicas, es adecuada para el consumo humano.                                |
| <b>Altimetría</b>        | Procedimientos utilizados para definir las diferencias de nivel existentes entre puntos distintos de terreno o construcción. |
| <b>Caudal</b>            | Cantidad de flujo que pasa por determinado elemento en una unidad de tiempo.                                                 |
| <b>Columna de agua</b>   | Carga de presión, en (Newton–metro) / Newton.                                                                                |
| <b>Cloración</b>         | Desinfección del agua por medio de cloro.                                                                                    |
| <b>Consumo</b>           | Cantidad de agua utilizada por la población en litros/habitante/día.                                                         |
| <b>Cota piezométrica</b> | Altura de presión de agua que se tiene en un punto específico, en (Newton–metro) / Newton.                                   |

|                         |                                                                                                                                                                             |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Estiaje</b>          | Nivel de caudal más bajo, que se da en ciertas épocas del año por causa de la sequía.                                                                                       |
| <b>INE</b>              | Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.                                                                                                                             |
| <b>Losa</b>             | Diafragma horizontal.                                                                                                                                                       |
| <b>Mampostería</b>      | Sistema tradicional que consiste en la construcción de muros, mediante la colocación manual de elementos como ladrillos, bloques de cemento prefabricado, piedras, y otros. |
| <b>Pérdida de carga</b> | Baja presión debido a la fricción que existe entre el agua y las paredes de la tubería                                                                                      |
| <b>Riachuelo</b>        | Río pequeño, agua superficial.                                                                                                                                              |

## RESUMEN

El presente informe contiene el diseño de la introducción de agua potable para el caserío El Astillero. El cual se realizó para brindarles un servicio de gran importancia a la comunidad.

El diseño de la introducción de agua potable se compone de una captación mediante una presa de concreto ciclópeo. Esta funciona de almacenamiento y elevación del tirante del agua, con una caja de captación con un gavión y geotextil como muro, para la función de la toma de agua y filtro. Una vez captada por la caja se conduce a un ariete hidráulico, que eleva el caudal hasta el tanque de almacenamiento, proveyendo un flujo constante durante el año.

En el tanque se contará con una bomba sumergible con una potencia de dos caballos de fuerza. Esta impulsará el flujo hasta el tanque de distribución, en donde se continuará con su distribución por gravedad hacia las viviendas.

Se diseñó bajo normas de diseño y consideraciones de Unepar, y para los tanques el código ACI. El resultado final consiste en un juego de planos y la integración del presupuesto.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar el sistema de agua potable para el caserío El Astillero.

### **Específicos**

1. Ejecutar estudios para conocer la calidad del afluente y su capacidad.
2. Realizar planos del diseño propuesto.
3. Elaborar un presupuesto y cronograma.
4. Crear un manual de operación y mantenimiento.



## **INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso natural que permite el desarrollo de las comunidades, el cual debe ser prioridad para todas las municipalidades de proveerles a sus ciudadanos. El presente trabajo contiene el diseño del sistema de agua potable del caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala. El cual comprende desde la captación, conducción y distribución.

Debido a la carencia de agua potable para el consumo humano, el diseño del proyecto es de mucha importancia. Se utilizan las diferentes normas y herramientas relacionadas con la ingeniería civil para la elaboración del diseño.

El trabajo consta de dos capítulos. En el primero se presenta una breve monografía del caserío El Astillero. En el segundo se describe el diseño de introducción de agua potable.



# 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

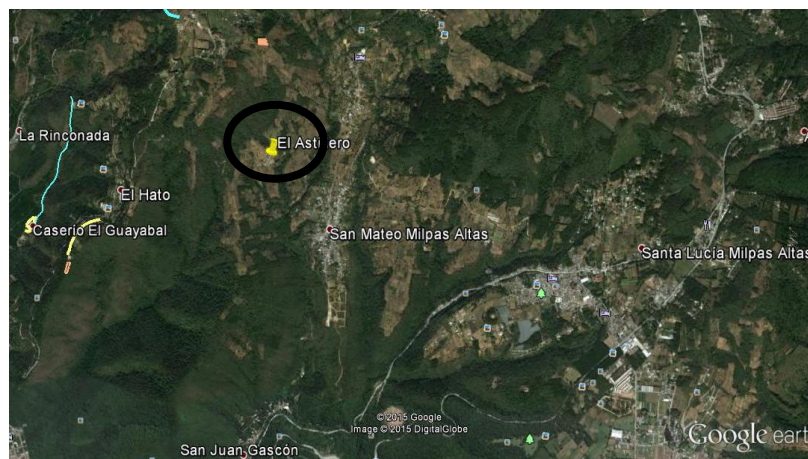
## 1.1. Generalidades

A continuación se presentan las generalidades del caserío El Astillero.

### 1.1.1. Ubicación y localización

El caserío El Astillero de la aldea El Hato está ubicado en el municipio de Antigua Guatemala. Colinda al norte con la aldea Vuelta Grande, al este con la aldea San Mateo Milpas Altas, al sur con San Mateo Milpas Altas y San Juan Gascón y al oeste con la aldea El Hato. Se ubica en el cerro El Astillero. Sus coordenadas son  $14^{\circ} 35' 7.78''$  N,  $90^{\circ} 42' 0.03''$  O, su elevación sobre el nivel del mar es de 1 935 m.

Figura 1. Ubicación del caserío El astillero



Fuente: Google Earth. *Coordenadas de topografía*, imagen satelital. Consulta: noviembre 2016.

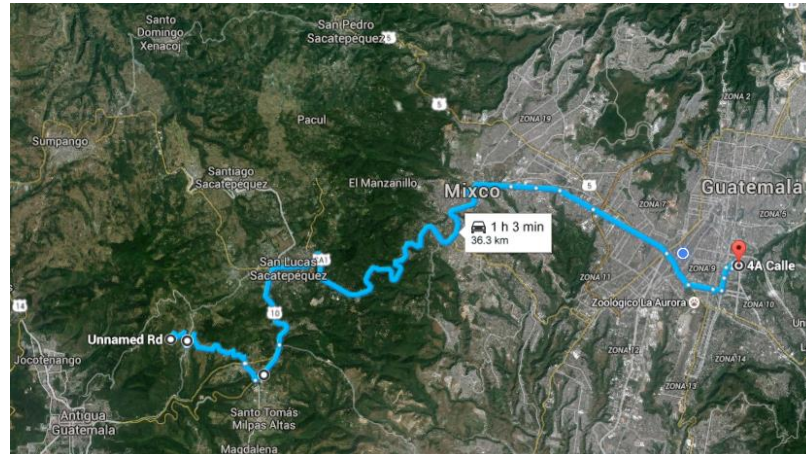
### **1.1.2. Vías de acceso**

El Astillero se encuentra a 32 km de la ciudad de Guatemala y a 8,2 km del municipio de Antigua Guatemala del departamento de Suchitepéquez. Su acceso actual es por la ruta a San Mateo Milpas Altas, aunque el caserío pertenece a la aldea el Hato. La entrada por este lugar es inaccesible en temporada de lluvia, el camino se encuentra en mal estado, y no es aconsejable tomarlo. Sin embargo, por la aldea de San Mateo Milpas Altas la entrada es accesible, aunque se deben de tomar sus precauciones al manejar.

Existen 3 rutas de acceso dependiendo del punto de partida, de las cuales se presentan las 2 opciones aconsejables:

- Opción 1: Guatemala–El Astillero: esta ruta es de aproximadamente 32 km partiendo del Trébol, tomando la Ruta Nacional núm. 10, carretera hacia Antigua Guatemala.

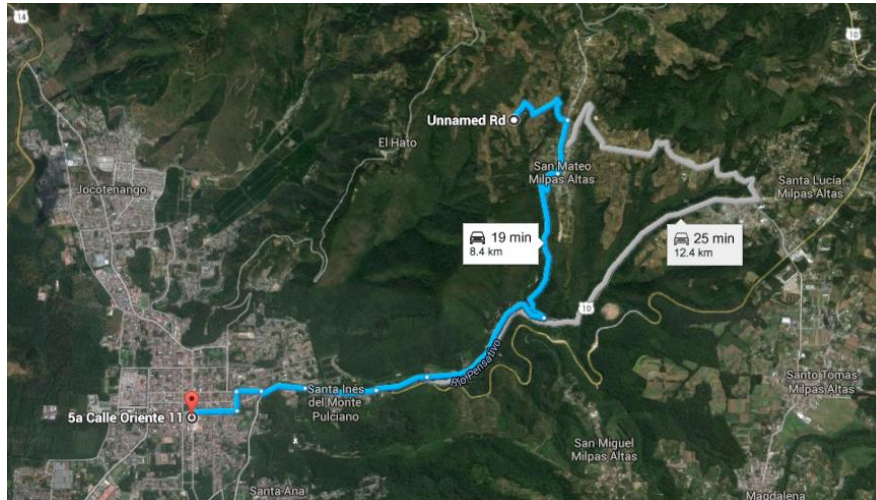
Figura 2. Ruta Guatemala–El Astillero



Fuente: Google Earth. *Coordenadas de topografía*, imagen satelital. Consulta: noviembre 2016.

- Opción 2: Antigua Guatemala–El Astillero: esta opción atraviesa las aldeas San Juan Gascón y San Mateo Milpas Altas. Estas poseen calles pavimentadas, con servicios públicos. En San Mateo Milpas Altas se encuentra una desviación con camino de terracería que conecta a dicha aldea con el caserío El Astillero. La ruta consta de 8,4 km, y su tiempo de llega depende tanto del clima como el estado del camino a partir del último cruce.

Figura 3. Ruta Antigua Guatemala–El Astillero



Fuente: Google Earth. *Coordenadas de topografía*, imagen satelital. Consulta: noviembre 2016.

### 1.1.3. Topografía

Esta es irregular, con la forma de una curva convexa, siendo el punto bajo la cabecera municipal, y la elevación varía entre 1 500 a 2 400 msnm. Contiene los cerros Santa Inés, El Astillero, Cucurucho, El Hoto, El Manchen, El Piñol, El Portal, La Candelaria y La Pedrera, al igual que los volcanes de Agua, Acatenango y Fuego y la montaña de Carmona.

### 1.1.4. Hidrografía

El municipio posee 2 cuerpos hidrográficos, el río Pensativo y el Guacalate. Uno de los riesgos permanentes de inundación, lo constituye la vertiente del río Pensativo en el periodo de precipitación pluvial. Siendo este una amenaza constante hacia la población antiguëña.

### **1.1.5. Condiciones climáticas y zonas de vida**

El municipio de Antigua Guatemala se encuentra ubicado en un bosque húmedo montano bajo subtropical, cuyo símbolo es BH-MB según el Sistema de Holdrige. La estación meteorológica del Insivumeh que caracteriza el área es la estación Suiza Contenta que presenta los siguientes datos anuales: temperatura media de 16,1 °C; temperatura máxima de 22,4 °C; temperatura mínima de 8,1 °C; temperatura máxima absoluta de 26,0 °C; temperatura mínima absoluta de 0,5 °C; una precipitación de 1 406,5 mm y evaporación de 3,5 mm.

### **1.1.6. Fauna, flora y cobertura forestal**

La mayor parte del área boscosa se encuentra en la finca Florencia con bosque natural mixto. Así como en la finca El Hato con bosque natural de coníferas, los astilleros de San Mateo con bosques natural de coníferas, San Pedro Las Huertas y San Juan el Obispo con bosques y San Cristóbal El Alto con bosque natural mixto. La fauna predominante son sanates, ardillas, armados, tacuacines, venado, taltuzas, loros y pericos. La flora está conformada principalmente por especies de eucalipto, ciprés, álamo, entre otras.

### **1.1.7. Uso potencial del suelo**

En el municipio de Antigua Guatemala se encuentran suelos profundos y poco profundos desarrollados sobre ceniza volcánica de color claro, y suelos poco profundos desarrollados sobre roca. El material madre es ceniza volcánica de color claro, con un relieve suavemente inclinado a muy inclinado, buen drenaje interno.

Posee un suelo superficial de color café muy oscuro con textura y consistencia de un franco limoso friable de aproximadamente 40 y 60 cm de espesor. El subsuelo es de color café amarillento, de consistencia friable y la textura de un franco arcillo limoso, con un espesor aproximado de 100 a 200 cm. Según datos del Ministerio de Agricultura el uso del suelo en Antigua Guatemala se distribuye de la siguiente forma: el 35 % es utilizado en actividades agrícolas, el 26 % es uso forestal y un 39 % de protección.

### **1.1.8. Condiciones actuales del Caserío El Astillero**

El caserío cuenta con servicio de energía eléctrica y manejo de basura orgánica individual para la realización de fertilizantes. A continuación se describen los servicios existentes.

#### **1.1.8.1. Servicios existentes**

El caserío El Astillero es una comunidad relativamente pequeña, constituida por 16 viviendas y un total de 92 personas. La población es indígena, una parte se dedica a la siembra de cultivos en sus terrenos para venta en el mercado de Santo Tomas Milpas Altas y San Mateo Milpas Altas; otra parte trabaja en las comunidades cercanas en diferentes actividades, como albañilería.

Esta comunidad no posee ninguna línea de conducción ni distribución de agua potable. Tampoco un sistema de drenaje, escuela, centro de salud o de asistencia, policía, bomberos, servicio de recolección de basura, calles adoquinadas o de terracería en buen estado y compactada. En el 2011 se realizó el proyecto de electrificación del caserío, lo cual permitió que ellos tuvieran acceso a equipos como radios, teléfonos, cargadores, televisiones, luz en los hogares, y otros equipos para la comodidad de las personas. En el 2014 se

realizó el proyecto de apertura de brecha de camino del caserío El Astillero hacia San Mateo Milpas Altas.

Figura 4. **Placa de TRECSEA, instalación de luz eléctrica**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

Por los servicios faltantes las personas han tenido la necesidad de migrar, muchas dejaron de vivir en la comunidad dejando sus terrenos para la siembra y así tener mejores condiciones de vida. Conociendo sus necesidades, los vecinos se han organizado y creado su Cocode, y así presentando peticiones a la municipalidad de Antigua Guatemala. Ellos han exigido servicios básicos como agua potable, sistema de saneamiento, adoquinado y mejoramiento de la carretera y calle principal del caserío.

**Figura 5. Carretera de acceso hacia El Astillero**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

**Figura 6. Calle hacia el terreno previsto para tanque de distribución**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

## **2. INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO, ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ**

### **2.1. Descripción del proyecto**

La necesidad de un proyecto de agua potable para el caserío El Astillero es de suma importancia. Para este logro se cuenta con una fuente de agua que proporciona un caudal suficiente para cubrir la demanda de la población actual y futura, para un periodo de vida útil de 20 años.

El proyecto consiste en el diseño de la línea de conducción y la red de distribución. Para ello se propone el diseño de una presa por gravedad para elevar el tirante de agua en el río y mantener el caudal ecológico. Para satisfacer la demanda, el caudal necesario será obtenido mediante una caja de captación ubicada a la orilla del río, y transportado por tubería de cloruro de polivinilo (PVC) a un ariete hidráulico de HG. El ariete hidráulico permite tener un flujo constante en el año, funcionando como una bomba mecánica de bajo mantenimiento que alimentará al tanque de almacenamiento, donde se ubicará una bomba eléctrica vertical de 2 HP.

El diseño de la línea de conducción parte de la estación de bombeo hasta el tanque de distribución. Está ubicado en la parte más elevada de la comunidad, con el objetivo de trabajar la red de distribución por gravedad, y la línea de conducción del ariete hidráulico empieza desde la toma de agua hasta el tanque de almacenamiento.

## **2.2. Estudio topográfico**

Es el primer estudio a realizar y es de gran importancia para el diseño del proyecto.

### **2.2.1. Planimetría**

Los componentes de la planimetría necesarios para el diseño son: los ángulos para determinar el recorrido de la línea de conducción y la red de distribución. La longitud total de tubería para calcular la energía del sistema.

### **2.2.2. Altimetría**

La finalidad de la altimetría, en el diseño, es determinar las diferencias de altura entre puntos ubicados dentro del terreno. Esto se utiliza para ubicar los tanques de almacenamiento, también para calcular la energía, y la capacidad de la bomba.

### **2.2.3. Levantamiento topográfico**

Para el presente proyecto se elaboró un levantamiento topográfico abierto. Esto para localizar la línea de conducción, la red de distribución dentro del caserío, ubicar aquellos puntos de importancia, las conexiones domiciliarias. También se realizó un levantamiento topográfico cerrado para obtener el área de proyección, en el tanque de captación, almacenamiento y distribución.

Ambos levantamientos sirven para el diseño del proyecto. Se utilizó el método de conservación de azimut y radiaciones, con una estación total y se

obtuvieron las coordenadas con un GPS. Todo el equipo utilizado pertenece a la municipalidad de Antigua Guatemala, que lo prestó para la ejecución del estudio.

Figura 7. **Ejecución del levantamiento topográfico**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

Figura 8. **Ejecución del levantamiento topográfico. Calle principal**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

### **2.3. Fuente de agua**

El tipo de abastecimiento de agua puede ser superficial, subterráneos superficiales o profundos. La elección del tipo de fuente depende de factores como localización, calidad, cantidad y acceso. En el caserío El Astillero, la única fuente cercana de agua es un riachuelo. Está ubicado en la parte baja de la comunidad, con un acceso a ella mediante un terreno de propiedad comunal en donde se ejecutará su captación.

Figura 9. **Fuente de abastecimiento, riachuelo**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

### **2.4. Caudal de aforo**

El aforo de la fuente de abastecimiento fue realizado en la época de estiaje y otro con precipitación pluvial para obtener un rango de la capacidad de la fuente. El caudal de estiaje es de 0,223 l/s y en periodo de precipitación

0,296 l/s. Por el tipo de fuente se realizó un aforo volumétrico, cronometrando el tiempo de llenado de un volumen conocido.

Se realizó el aforo varias veces para obtener un valor más exacto posible, las cuales se muestran a continuación:

Tabla I. **Caudal aforado en periodo de precipitación pluvial**

| Núm.            | VOLUMEN (m3) | TIEMPO (s) | CAUDAL (m3/s) | CAUDAL (l/s) |
|-----------------|--------------|------------|---------------|--------------|
| 1               | 0,0248       | 80,00      | 0,0003096     | 0,310        |
| 2               | 0,0248       | 92,00      | 0,0002692     | 0,269        |
| 3               | 0,0248       | 83,00      | 0,0002984     | 0,298        |
| 4               | 0,0218       | 70,00      | 0,0003114     | 0,311        |
| 5               | 0,0218       | 74,00      | 0,0002946     | 0,295        |
| 6               | 0,0218       | 75,00      | 0,0002907     | 0,291        |
| <b>PROMEDIO</b> |              |            |               | <b>0,296</b> |

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Caudal aforado en periodo de estiaje**

| Núm.            | VOLUMEN (m3) | TIEMPO (s) | CAUDAL (m3/s) | CAUDAL (l/s) |
|-----------------|--------------|------------|---------------|--------------|
| 1               | 0,0218       | 94,67      | 0,0002303     | 0,230        |
| 2               | 0,0218       | 98,55      | 0,0002212     | 0,221        |
| 3               | 0,0218       | 96,69      | 0,0002255     | 0,225        |
| 4               | 0,0218       | 98,15      | 0,0002221     | 0,222        |
| 5               | 0,0218       | 10,37      | 0,0002172     | 0,217        |
| 6               | 0,0218       | 98,32      | 0,0002217     | 0,222        |
| <b>PROMEDIO</b> |              |            |               | <b>0,223</b> |

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Aforo de la fuente**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

## **2.5. Análisis de la calidad de agua**

Actualmente ninguna fuente de abastecimiento de agua es apta para el consumo humano. Previendo cualquier tipo de contaminación con organismos patógenos se requiere un tratamiento para que cumpla con los parámetros que permitan beberla sin riesgos a la salud. El análisis de calidad de agua se hace con el objetivo de determinar el grado de pureza y la potabilidad del recurso. Esto se realiza un examen bacteriológico y fisicoquímico.

Para garantizar que el agua es potable para la comunidad, se tomaron las muestras de la vertiente y se transportaron refrigeradas en menos de 24 horas al laboratorio de microbiología sanitaria del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CII), con lo cual se espera que cumplan los requisitos mínimos establecidos por las normas Coguanor NGO 29 001 o proponer un sistema de tratamiento para que lo sea.

**Figura 11. Toma de muestras**



Fuente: Caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala.

### **2.5.1. Examen físico-químico sanitario**

Según los resultados presentados por el CII, desde el punto de vista de la calidad química el agua cumple con la Norma Coguanor NGO 29 001, por lo que el agua administrada es apta para consumo humano. Sin embargo, se debe trabajar un sistema de tratamiento en el aspecto físico, porque se presenta ligeramente turbia. Ver en anexos.

### **2.5.2. Examen bacteriológico**

Según este examen, el agua se enmarca en la clasificación 1, es decir que no exige más que un simple tratamiento de desinfección del agua. Esto para prevenir el riesgo de que ciertos microorganismos perjudiciales causen enfermedades, esto según normas internacionales de la Organización Mundial de la Salud para Fuentes de Agua. Ver en anexos.

## **2.6. Criterios de diseño**

Existen diferentes maneras de abordar un problema y de la misma manera de solucionarlo. Esto depende de diversos factores como la población, su nivel socioeconómico, el clima, la topografía del lugar, tipo de la fuente, la calidad y cantidad del recurso, entre otros. Por lo que resulta necesario exponer los criterios utilizados para el diseño del proyecto, describir las normas utilizadas y adjuntar la memoria de cálculo.

### **2.6.1. Período de diseño**

Este es el tiempo durante que el sistema de agua potable ha de prestar con eficiencia su servicio. Este comprende desde el momento de la construcción e inicio de su funcionamiento, hasta el momento en que se sobrepasan las condiciones de diseño establecidas. Para fijarlo se toman en cuenta los siguientes factores:

- Vida útil de los materiales y equipos (más de 30 años para tubería de PVC)
- La población de diseño
- Calidad de los materiales y de las construcciones
- Costos y tasas de interés
- Comportamiento del sistema en sus primeros años
- Caudal
- Cambios en el desarrollo social y económico de la población
- Facilidad de ampliación

Tabla III. **Períodos de diseño para componentes de un sistema de agua**

| <b>ELEMENTO</b>                | <b>AÑOS</b> |
|--------------------------------|-------------|
| Fuente de abastecimiento       | 20          |
| Líneas de conducción           | 20          |
| Tanque de almacenamiento       | 20 mínimo   |
| Líneas y redes de distribución | 20 mínimo   |
| Estaciones de bombeo           | 5           |
| Plantas purificadoras          | 20 mínimo   |

Fuente: LÓPEZ CUALLA. *Diseño de acueductos y alcantarillados*. p.17

Para el diseño de este proyecto se considerará un período de 20 años tomando en cuenta los factores anteriores.

### **2.6.2. Población de diseño**

La estimación de la población de diseño es parte fundamental. Este depende de la población actual; la tasa de crecimiento; el período de diseño; las actividades socioeconómicas, entre otros factores.

#### **2.6.2.1. Población futura**

El cálculo de la población futura se realizó con el método de crecimiento geométrico. Su ecuación se describe a continuación:

$$Pf = Po*(1+r)^n$$

Donde

Pf = población futura a los 20 años

Po = población actual

Po = 92 habitantes

r = tasa de crecimiento poblacional

r = 2,14 %

n = período de diseño

n = 20 años

Sustituyendo los datos:

$$Pf = 92 * (1+0,0214)^{20}$$

$$Pf = 140,51$$

$$Pf \cong 141 \text{ habitantes}$$

El dato de la población actual fue obtenido mediante censos realizados durante el levantamiento topográfico. La tasa de crecimiento fue estimada con datos de la Municipalidad de Antigua Guatemala y del Instituto Nacional de Estadística (INE).

La población de diseño para este proyecto será de 141 habitantes.

### **2.6.3. Dotación**

Se define como la cantidad de agua asignada a un habitante en un día en una población. Se expresa en litros habitante por día (l/hab/día). Para fijar la dotación se deben tomar en cuenta los factores de clima, nivel de vida, actividades productivas, servicios comunales o públicos, medición, facilidad de drenaje, administración del sistema, presiones calidad y cantidad del agua, o estudios de demanda para la población o poblaciones similares.

Al no contar con estudios de demanda, la Unidad Ejecutora de Programa de Acueductos Rurales (Unepar) recomienda los siguientes valores para un sistema de agua potable en el área rural.

Tabla IV. **Dotaciones según sistema de abastecimiento**

| <b>SISTEMA DE ABASTECIMIENTO</b>      | <b>DOTACIÓN<br/>(l/hab/día)</b> |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| Llena cántaros                        | 30 – 60                         |
| Llena cántaros y conexiones prediales | 60 – 90                         |
| Conexiones prediales                  | 60 – 120                        |
| Conexiones intradomiciliares          | 90 – 170                        |
| Pozo excavado                         | 15 mínimo                       |

Fuente: Unidad Ejecutora de Programa de Acueductos Rurales (Unepar), *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. p. 17.

Para el diseño de la introducción de agua potable en el caserío El Astillero, se adoptó una dotación de 65 l/hab/día. Debido a que este proyecto se localiza en el área rural del municipio de Antigua Guatemala y prestará un servicio con conexiones prediales, considerando al mismo tiempo el caudal aforado un tanto bajo.

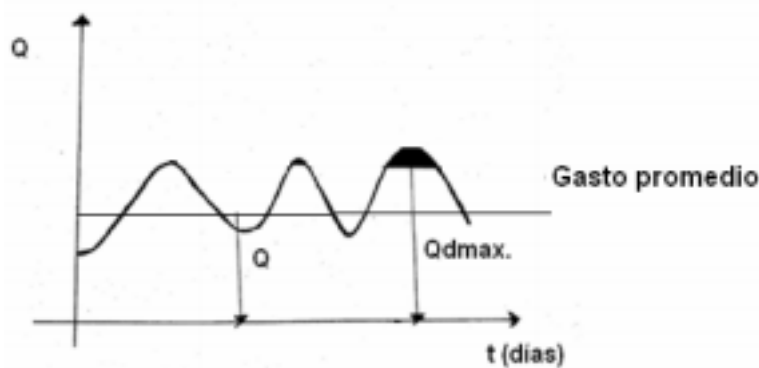
#### **2.6.4. Factores de consumo**

Son modificadores del caudal para garantizar el buen funcionamiento del sistema. Estos dependen de la población a servir.

### 2.6.4.1. Factor de día máximo

El comportamiento del consumo varía con los días del año, por la forma de vida de las personas, sus actividades diarias, su conciencia del uso del recurso, entre otros. Esto se puede apreciar en la figura 21. Por esta razón se hace necesario un factor de día máximo para asegurar un servicio constante. Se consideran los picos y depende principalmente del tamaño de la población.

Figura 12. Gráfica del desvío del caudal promedio diario



Fuente: AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de ingeniería sanitaria 1*. p. 50.

Unepar recomienda los siguientes criterios.

Tabla V. Factores de día máximo

| ÁREA              | FDM       |
|-------------------|-----------|
| Población < 1 000 | 1,2 – 1,5 |
| Población > 1 000 | 1,2       |

Fuente: Unidad Ejecutora de Programa de Acueductos Rurales (Unepar). *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. p. 18.

Bajo esta sugerencia, se tomó el valor de 1,5 como factor de día máximo (FDM), ya que la población es menor a 1 000 habitantes.

#### **2.6.4.2. Factor de hora máximo**

Al igual que el consumo de caudal, varía en los días del año. Este varía por horas en un día, por lo que se hace necesario afectar el caudal medio por un factor de hora que asegure el uso constante del servicio en el día, y sea capaz de satisfacer la demanda. Unepar sugiere los siguientes valores:

Tabla VI. **Factores de hora máximo**

| <b>ÁREA</b>       | <b>FHM</b> |
|-------------------|------------|
| Población < 1 000 | 2,0 – 3,0  |
| Población > 1 000 | 2,0 – 2,2  |

Fuente: Unidad Ejecutora de Programa de Acueductos Rurales (Unepar). *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. p. 18.

En este proyecto la población es menor de 1 000 habitantes, entonces se utilizará un FHM = 2,0.

#### **2.6.5. Caudales de diseño**

La determinación de los caudales que se requiere para dotar de agua potable a los pobladores es de suma importancia. Estos se analizan desde la captación de la fuente hasta el tanque de distribución, el cual es el caudal de línea de conducción y el caudal de la red de distribución. Esto va desde el tanque hasta las conexiones domiciliarias.

### 2.6.5.1. Caudal medio diario

Este caudal se define como el consumo en 24 horas, obtenido del promedio diario en un año. Sin no se cuenta con registros. Se calcula como el producto de la dotación por la población de diseño en un año. En los proyectos por bombeo cuando la fuente produce un caudal menor al caudal medio diario ( $Q_m$ ), se podrá reducir la dotación hasta el mínimo de 40 l/hab/día. La expresión matemática es:

$$Q_m = \frac{P_f * \text{Dotación}}{86\ 400}$$

Donde

$Q_m$  = caudal medio diario, en litros por segundo

$P_f$  = población futura

86 400 = cantidad de segundos en un día

Entonces:

$$Q_m = \frac{141 \text{ habitantes} * 65 \text{ l/hab/día}}{86\ 400}$$

$$Q_m = 0,106 \text{ l/s}$$

El caudal medio es igual a 0,106 l/s, siendo menor que el caudal de estiaje (0,223 l/s), por lo que no es necesario reducción de la dotación.

### 2.6.5.2. Caudal máximo diario

El consumo máximo diario es el caudal utilizado en la línea de conducción, e indica la mayor demanda que se presenta en un día del año. Se obtiene mediante el producto del caudal medio diario y el factor de día máximo. Su ecuación es:

$$Q_{dm} = FDM * Q_m$$

Donde

$Q_{dm}$  = caudal de día máximo, litros por segundo

FDM = factor de día máximo, adimensional

$Q_m$  = caudal medio diario, litros por segundo

Sustituyendo datos:

$$Q_{dm} = 1,50 * 0,106 \text{ l/s}$$

$$Q_{dm} = 0,159 \text{ l/s}$$

### **2.6.5.3. Caudal máximo horario**

Este corresponde a la demanda máxima que se presenta en una hora durante un año. Este caudal se utiliza para la red de distribución, el cual es directamente proporcional al producto del caudal medio y el factor de hora máximo. Se expresa como:

$$Q_{hm} = FHM * Q_m$$

Donde

$Q_{hm}$  = caudal de hora máximo, litros por segundo

FHM = factor de hora máximo, adimensional

$Q_m$  = caudal medio diario, litros por segundo

Sustituyendo datos

$$Q_{hm} = 2,00 * 0,106 \text{ l/s}$$

$$Q_{hm} = 0,212 \text{ l/s}$$

#### 2.6.5.4. Caudal de bombeo

Se obtiene multiplicando el caudal máximo diario por 24 horas dividido el período de bombeo al día. El período de bombeo se expresa en horas, las cuales deben estar en un rango de 8 a 12 horas. Esto para garantizar un buen funcionamiento y alargar la vida del motor. El caudal a bombear no debe exceder el caudal aforado. Este determina de la siguiente manera:

$$Q_b = \frac{Q_{dm} * 24}{T_b}$$

$Q_b$  = caudal de bombeo, litros por segundo

$Q_{dm}$  = caudal de día máximo, litros por segundo

$T_b$  = periodo de bombeo, horas

24 = horas en un día

Entonces

$$Q_b = \frac{0,159 * 24}{12 \text{ h}}$$

$$Q_b = 0,318 \text{ l/s}$$

El caudal de bombeo es igual a 0,318 l/s, mientras que el caudal de estiaje es de 0,223 l/s. El periodo de bombeo utilizado fue el máximo, ya que siendo este inversamente proporcional al caudal de bombeo, se obtiene el caudal mínimo de bombeo. Aun así, no se logra que la fuente satisfaga la demanda teniendo entonces dos alternativas:

- Reducir la dotación
- Utilizar un método diferente

Previendo las necesidades de la población, y siendo este un recurso vital, se considera la primera opción descartada. Tomando la segunda alternativa, mediante un proceso de 2 etapas, se garantiza el suministro de agua a la población de diseño. La primera etapa estaría constituida por un ariete hidráulico que suministre un tanque de almacenamiento y la segunda, una línea de conducción mediante bombeo. Los caudales de cada etapa se describirán más adelante.

## 2.7. Consideraciones hidráulicas

Estas son la base del diseño para la introducción de agua potable, abarcan desde el tipo de la tubería a emplear hasta las velocidades dentro del sistema. A continuación se describen las consideraciones hidráulicas del proyecto.

### 2.7.1. Tipo y clase de tubería

Existe una amplia gama de tubería para utilizar en sistemas de agua potable. En este proyecto se utilizará la tubería de PVC, y la clase de tubería que sea capaz para soportar las presiones de diseño. A continuación se presenta un resumen con las clases de tubería utilizadas en cada etapa del proyecto, al igual que sus diámetros:

Tabla VII. **Tubería en línea de conducción**

| EST | PO | Diámetro | Presión de trabajo |
|-----|----|----------|--------------------|
| 0   | 1  | 1"       | 250 PSI            |

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Tubería en red de distribución**

| TRAMO |     | Diámetro | Presión de trabajo |
|-------|-----|----------|--------------------|
| EST   | PO  |          |                    |
| 1     | 1,A | 2"       | 160 PSI            |
| 1,A   | 1,B | 2"       | 160 PSI            |
| 1,B   | 1,C | 2"       | 160 PSI            |
| 1,C   | 1,D | 2"       | 160 PSI            |
| 1,D   | 1,E | 2"       | 160 PSI            |
| 1,E   | 1,F | 2"       | 160 PSI            |
| 1,F   | 1,G | 2"       | 160 PSI            |
| 1,G   | 2   | 2"       | 160 PSI            |
| 2     | 3   | 1"       | 160 PSI            |
| 2     | 4   | 1 ½"     | 160 PSI            |
| 4     | 5   | 1"       | 160 PSI            |

Fuente: elaboración propia.

### 2.7.2. **Presión estática y dinámica**

Dependiendo del tipo de tubería y la clase son capaces de soportar una presión específica. Esta nunca debe ser superada por la presión hidrostática máxima en las líneas de conducción y distribución. Del mismo modo se debe chequear que nunca se sobrepasen las presiones de trabajo de los accesorios utilizados previendo posibles fugas.

La presión estática se refiere a cuando el fluido se encuentra en reposo, la cual debe ser soportada por la tubería. En la línea de conducción, esta no debe de superar los 100 m.c.a. y en la red de distribución un máximo de 60 m.c.a.

La presión dinámica se produce cuando el fluido se encuentra en movimiento, modificando su valor y energía a medida que avanza. Esta presión debe ser soportada por la tubería. Esta, además tiene un valor mínimo que

garantiza que el líquido llega a la altura de las viviendas igual a 10 m.c.a. pero en el área rural es aceptado a 5 m.c.a.

A continuación se presenta un cuadro de resumen de las presiones en el sistema de agua potable:

Tabla IX. **Presiones en la línea de conducción**

| <b>EST</b> | <b>PO</b> | <b>Presión estática<br/>(m.c.a.)</b> | <b>Presión dinámica<br/>(m.c.a.)</b> |
|------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>0</b>   | <b>1</b>  | 98,68                                | 101,48                               |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Presiones en la red de distribución**

| <b>TRAMO</b> |            | <b>Presión dinámica<br/>(m.c.a.)</b> | <b>Presión estática<br/>(m.c.a.)</b> |
|--------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>EST</b>   | <b>PO</b>  |                                      |                                      |
| <b>1</b>     | <b>1,A</b> | 1,17                                 | 1,18                                 |
| <b>1,A</b>   | <b>1,B</b> | 13,95                                | 14,19                                |
| <b>1,B</b>   | <b>1,C</b> | 1,39                                 | 1,41                                 |
| <b>1,C</b>   | <b>1,D</b> | 10,26                                | 10,40                                |
| <b>1,D</b>   | <b>1,E</b> | 3,23                                 | 3,30                                 |
| <b>1,E</b>   | <b>1,F</b> | 5,77                                 | 5,87                                 |
| <b>1,F</b>   | <b>1,G</b> | 8,59                                 | 8,71                                 |
| <b>1,G</b>   | <b>2</b>   | 7,79                                 | 7,90                                 |
| <b>2</b>     | <b>3</b>   | 4,83                                 | 4,97                                 |
| <b>2</b>     | <b>4</b>   | -6,38                                | -5,35                                |
| <b>4</b>     | <b>5</b>   | 0,56                                 | 0,97                                 |

Fuente: elaboración propia.

### 2.7.3. Velocidades máximas y mínimas

Estas prevén que el fluido siempre se encuentre en movimiento causando la menor abrasión posible. En la línea de conducción por bombeo el rango recomendable es de 0,4 m/s a 2,0 m/s, y en la red de distribución estas oscilan entre 0,2 m/s a 2,0 m/s. En la siguiente tabla se encuentra un resumen de las velocidades del proyecto.

Tabla XI. Velocidad línea de conducción

| EST | PO | Velocidad (m/s) |
|-----|----|-----------------|
| 0   | 1  | 0,63            |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Velocidades en la red de distribución

| EST | PO  | Velocidad (m/s) |
|-----|-----|-----------------|
| 1   | 1,A | 0,35            |
| 1,A | 1,B | 0,35            |
| 1,B | 1,C | 0,35            |
| 1,C | 1,D | 0,35            |
| 1,D | 1,E | 0,35            |
| 1,E | 1,F | 0,35            |
| 1,F | 1,G | 0,35            |
| 1,G | 2   | 0,35            |
| 2   | 3   | 0,30            |
| 2   | 4   | 0,47            |
| 4   | 5   | 0,51            |

Fuente: elaboración propia.

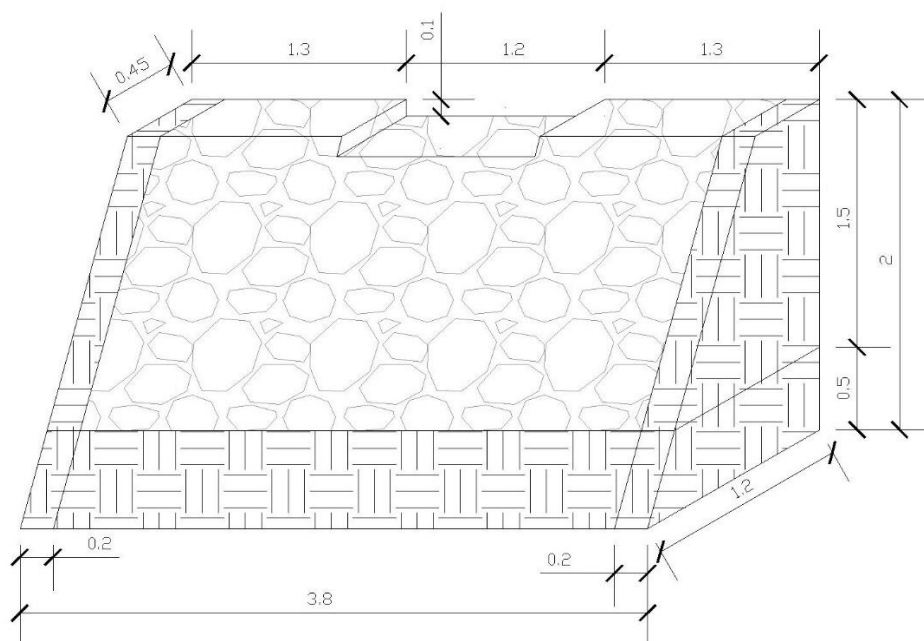
## 2.8. Captación

Es el sistema empleado para recolectar el agua proveniente de la fuente. Estas obras difieren dependiendo el tipo de la fuente y recursos. En el presente proyecto, se cuenta con un riachuelo, para el cual se debe de construir una presa pequeña para aumentar el nivel del agua y ser transportado hacia una caja de captación. Esto a manera de mantener un desnivel en este tramo y trabajar por gravedad.

### 2.8.1. Diseño de presa pequeña

La presa se diseñó como un muro de contención por gravedad de concreto ciclópeo, con un vertedero y una toma lateral para su conducción hacia la caja de captación.

Figura 13. Dimensiones de la presa, en metros



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La presa fue chequeada tanto por volteo y por deslizamiento, ya que son los factores de interés en un muro de contención por gravedad. La fuerza horizontal con mayor influencia es la producida por el agua, cuando esta se encuentra calmada. Se chequeó el comportamiento del vertedero (ver anexos).

Tabla XIII. **Factor de seguridad por deslizamiento**

|                                              |             |                   |
|----------------------------------------------|-------------|-------------------|
| Fuerza resistente                            | 3 960,00    | kg                |
| Fuerzas actuantes                            | 2 588,00    | kg                |
| <b>Factor de seguridad por deslizamiento</b> | <b>1,53</b> | <b>Sí chequea</b> |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Factor de seguridad por volteo**

|                                       |             |                   |
|---------------------------------------|-------------|-------------------|
| Momento resistente                    | 3 360,00    | Kg-m              |
| Momentos actuantes                    | 1 177,13    | Kg-m              |
| <b>Factor de seguridad por volteo</b> | <b>2.85</b> | <b>Sí chequea</b> |

Fuente: elaboración propia.

## 2.9. Ariete hidráulico

Es una máquina que aprovecha la energía de una pequeña diferencia de caída de agua para elevar parte de su caudal a una altura superior. El equipo se construye con elementos de fontanería común, diseñados para soportar muchos años de servicio con una limpieza periódica como único mantenimiento. Es muy fácil de arreglar en caso de romperse una pieza, ya que solo se sustituye. Este equipo garantiza un caudal constante todo el año, suministrando el tanque de

almacenamiento para el bombeo. Evitando de esta forma que la bomba centrífuga sumergible y llegue a quedarse sin agua y se arruine antes de la expiración de su vida útil.

### 2.9.1. Altura de elevación

Es la altura deseada a elevar con el equipo. Esta va en función del rendimiento y del desnivel de la caja de almacenamiento y del ariete hidráulico. Dicho desnivel se representa con la letra  $h$  y la altura de elevación con la letra  $H$ .

Tabla XV. **Alturas de diseño del ariete hidráulico**

| <b>Altura</b>           | <b>m</b> |
|-------------------------|----------|
| Altura de elevación (H) | 2,1      |
| Desnivel (h)            | 1,9      |

Fuente: elaboración propia.

### 2.9.2. Rendimiento

Representa el porcentaje de agua que se puede bombear. Este varía con la relación de la altura de elevación y el desnivel. Mientras menor sea esta relación, mayor será el rendimiento.

Tabla XVI. **Valores de rendimiento según relación de alturas analizadas**

| <b>Relación H/h</b> | 2    | 3    | 4    | 6    | 8    | 10   | 12   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Rendimiento</b>  | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,67 | 0,57 | 0,43 | 0,23 |

Fuente: JIMÉNEZ, José Manuel, *El ariete hidráulico*. p. 3.

Entonces

$$\text{Relación } H/h = \frac{2,10 \text{ m}}{1,90 \text{ m}}$$

$$\text{Relación } H/h = 1,12$$

Al ser esta relación pequeña, el rendimiento para el diseño será de un 85 %.

### **2.9.3. Caudal elevado**

Es el caudal que dotará el ariete hidráulico al tanque de almacenamiento, en donde se encontrará la bomba, para lo cual fue necesario, diseñar el tanque con la demanda de habitantes y obtener un volumen. Este resultado fue el caudal necesario para que nunca trabaje en vacío, el cual dio un valor de:

$$q = 0,08 \text{ l/s}$$

### **2.9.4. Caudal de alimentación**

Es el caudal encargado de dotar al ariete hidráulico. Este es directamente proporcional al caudal elevado e inversamente proporcional a la multiplicación del rendimiento y la relación de alturas. El ángulo de inclinación del tubo de alimentación debe estar entre los 10° y 45° con la horizontal.

$$Q_{ah} = \frac{q}{R * \frac{h}{H}}$$

Donde

$Q_{ah}$  = caudal de alimentación, litros por segundo

q = caudal elevado, litros por segundo

R = rendimiento

h = desnivel de trabajo, metros.

H = altura de elevación, metros

Reemplazando valores

$$Q_{ah} = \frac{0,08 \text{ l/s}}{0,85 * \frac{1,90 \text{ m}}{2,10 \text{ m}}}$$

$$Q_{ah} = 0,104 \text{ l/s}$$

## 2.10. Caja de captación

Es la encargada de recolectar el agua proveniente de la fuente de agua para ser utilizada por el ariete hidráulico. Esta se utilizará únicamente de paso, ya que la fuente le provee todo el día y el ariete hidráulico demanda del mismo modo, por lo que su función principal es proveer las características necesarias para que el ariete funcione, y el agua tenga menos sólidos en suspensión.

Para el volumen de la caja de captación se utilizó el caudal de alimentación del ariete hidráulico. Al trabajar esta parte a gravedad se utilizará un factor de almacenamiento de 20 %. Se adoptó este valor, ya que la caja es únicamente para paso del agua.

$$\text{Vol} = \frac{Q_{ah} * 86\ 400}{1\ 000} * \text{FA}$$

Donde

Vol = volumen caja de captación, metros cúbicos

Qah = caudal de alimentación del ariete hidráulico, litros por segundo

FA = factor de almacenamiento

86 400 = segundos en un día

Sustituyendo datos

$$\text{Vol} = \frac{0,104 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 86\ 400}{1\ 000} * 0,20$$
$$\text{Vol} = 1,80 \text{ m}^3$$

El volumen de la caja de captación es de 2,25 m<sup>3</sup>. Las dimensiones del tanque, usando una relación 1:1 de largo y ancho son:

- Largo = 1,80 m
- Ancho = 1,80 m
- Altura = 1,40 m

### 2.10.1. Diseño de losa de cubierta caja de captación

Se diseñó una losa de concreto reforzado, con el método 3 del ACI 63. Al ser discontinua en los cuatro lados se diseña por el caso núm.1.

- Relación ancho/largo (m)

$$m = \frac{a}{b}$$

Donde

m = relación ancho/largo o lado corto/ lado largo. Indica el funcionamiento de la losa, si  $m \geq 0,5$  trabaja en dos sentidos, y si  $m < 0,5$  trabaja en un sentido.

a = ancho / lado corto, metros.

b = largo / lado largo, metros.

Sustituyendo valores

$$m = \frac{1,80 \text{ m}}{1,80\text{m}}$$
$$m = 1 \geq 0,5$$

Ya que la relación es mayor es igual a 0,5, la losa trabaja en 2 dimensiones.

- Espesor de losa

$$t = \frac{\text{Perímetro}}{180}$$

Sustituyendo datos

$$t = \frac{4 * 1,80 \text{ m}}{180}$$

$$t = 0,04 \text{ m}$$

El espesor calculado es menor al mínimo, por lo que se propone de 10 cm.  
Las cargas de diseño son:

- Carga viva = 100 kg/m
- Carga muerta = 270 kg/m

La carga muerta se obtiene multiplicando el peso específico del concreto por el espesor de losa (6 cm), más la sobrecarga. Se calcula la carga mayorada utilizando los coeficientes de seguridad propuestos del ACI, de 1,4 para la carga muerta y de 1,7 para la carga viva.

$$CU = 1,40 * CM + 1,70 * CV$$

Donde

CU = carga mayorada

CV = carga viva

CM = carga muerta

Sustituyendo los datos

$$CU = 1,40 * 270 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 1,70 * 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$CU = 548,0 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Momentos que actúan en la losa (caso 1)
  - Momento positivo

$$M+ = L^2 * (C1 * CV + C2 * CM)$$

En donde

M+ = momento positivo, kilogramo metro.

C1 y C2 = coeficientes de carga viva y carga muerta respectivamente que dependen del lado analizado.

CV = carga viva, kilogramo por metro.

CM = carga muerta, kilogramo por metro.

L = lado analizado.

Sustituyendo datos

$$M+ = (1,80\text{m})^2 * (0,036 * 1,7 * 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 0,036 * 1,4 * 270 \frac{\text{kg}}{\text{m}})$$

$$M+ = 63,92 \text{ kg-m}$$

- Momento negativo

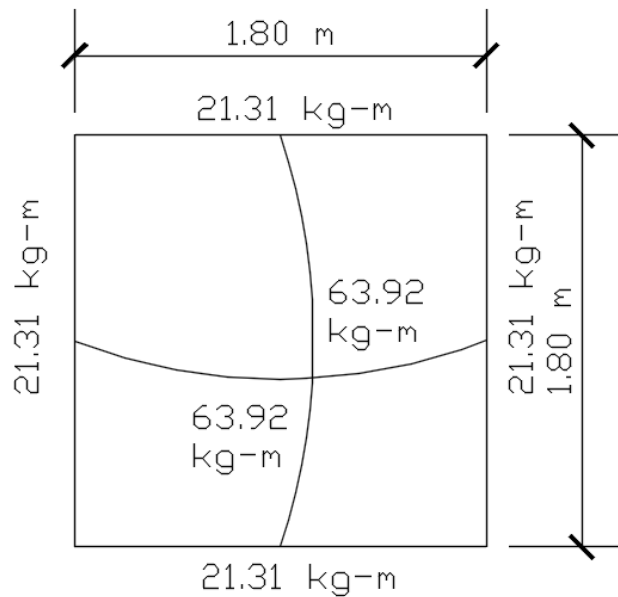
$$M_- = \frac{M_+}{3}$$

$$M_- = \frac{63,92 \text{ kg-m}}{3}$$

$$M_- = 21,31 \text{ kg-m}$$

Estos momentos son los mismos para el lado corto como el lado largo, ya que tienen las mismas dimensiones.

Figura 14. **Diagrama de momentos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Área de acero mínimo: se propuso el área de acero mínimo, ya que el momento producido por este soporta los momentos de la losa. Las áreas de acero calculadas producidas por los momentos fueron menores al mínimo.

$$A_{smin} = \phi * \frac{14,1}{f_y} * b * d$$

Donde

Asmin = área de acero mínimo, centímetro cuadrado

$\phi$  = factor de seguridad (0,40)

f<sub>y</sub> = resistencia del acero (2 810 kg/cm<sup>2</sup>)

b = franja unitaria (100 cm)

d = peralte, es la resta del espesor, el recubrimiento (2,5 cm) y el diámetro de la varilla a utilizar (núm. 3)

Reemplazando valores

$$Asmin = 0,40 * \frac{14,1}{2 810} * 100 * (10 - 2,5 - \frac{3}{8} * 2,54)$$

$$Asmin = 1,40 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento máximo

$$Smáx = 3 * t$$

$$Smáx = 3 * 10 \text{ cm}$$

$$Smáx = 30 \text{ cm}$$

- Cálculo de momento realizado por el área de acero mínimo

$$Mamin = \phi * Asmin * f'y * \left( d - \frac{Asmin * f'y}{1,7 * f'c * Franja \text{ unitaria}} \right) * 0,01$$

Donde

Mamin = momento que resiste el Asmin, kilogramo metro

Asmin = área de acero mínimo, centímetro cuadrado

f<sub>y</sub> = resistencia del acero (2 810 kg/cm<sup>2</sup>)

$f'c$  = resistencia del concreto (210 kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi$  = factor de reducción por flexión (0,90)

Reemplazando datos

$$M_{amin} = 0,90 * 1,40 * 2\,810 * \left(7 - \frac{1,40 * 2\,810}{1,70 * 210 * 100}\right) * 0,01$$

$$M_{amin} = 407,82 \text{ kg-m}$$

El momento del acero mínimo es mayor al momento máximo que se produce en la losa. Por lo que el acero a utilizar en la losa será el mínimo, y se utilizarán varillas de acero núm. 3 con un espaciamiento de 30 cm (núm. 3 @ 30cm).

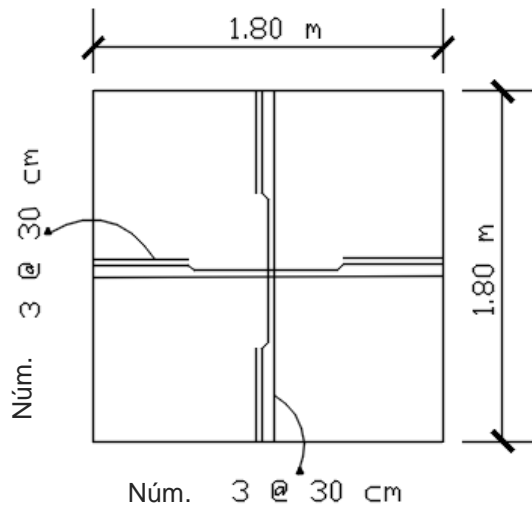
- Número de varillas

$$\text{Núm. varillas} = \frac{180 \text{ cm} - 10 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} + 2$$

$$\text{Núm. varillas} = 5,67 \text{ varillas}$$

Por lo que se propone 6 varillas núm. 3 para cada lado a cada 30 cm y la primera a 5 cm de la orilla. Otra alternativa sería una malla electro-soldada de calibre 7/7, de diámetro de varilla de 4,50 mm corrugada, con un peso de 1,68 kg/m<sup>2</sup>.

Figura 15. **Diagrama de refuerzo**

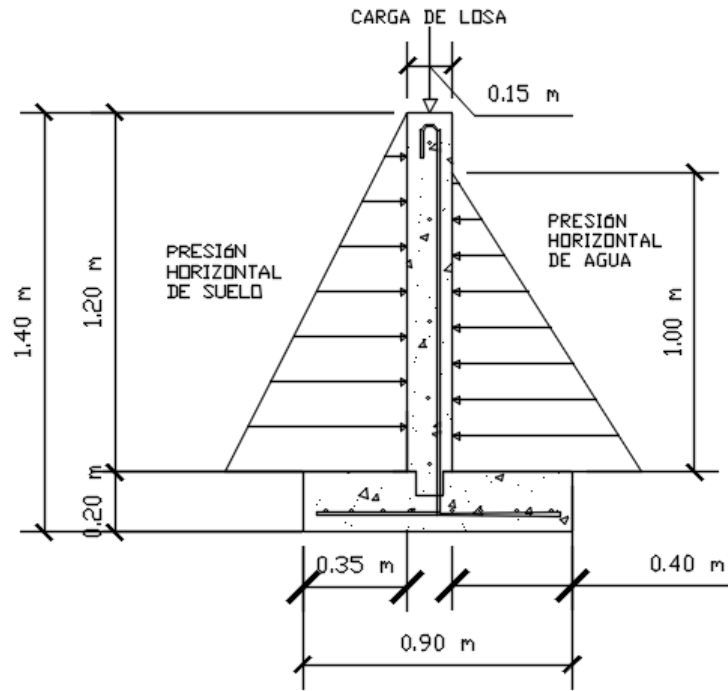


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

### 2.10.2. **Diseño de muros**

Las paredes de la caja de captación se diseñarán como tres muros de contención por voladizo de concreto reforzado. Por esto el traslado de material y facilidad de realizar; un gavión con geotextil como muro, el cual funcione como filtro y vertedero para rebalse, al mismo tiempo tendrá una carga en la parte superior debido a la losa de cubierta.

Figura 16. Muro de contención por voladizo caja de captación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Datos a utilizar:
  - Peso específico de la mampostería:  $1\,700\text{ kg/m}^3$
  - Peso específico del concreto:  $2\,400\text{ kg/m}^3$
  - Peso específico del agua:  $1\,000\text{ kg/m}^3$
  - Tipo de suelo = arena limosa
  - Peso específico del suelo =  $1\,500\text{ kg/m}^3$
  - Valor soporte del suelo =  $40\text{ ton/m}^3$
  - Ángulo de fricción =  $34^\circ$
  - Coeficiente de fricción = 0,44

- Fuerzas involucradas

- Presión horizontal de agua a una profundidad h

$$P_{\text{agua}} = \text{peso específico del agua} * h$$

$$P_{\text{agua}} = 1,00 \text{ m} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{agua}} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Carga de la presión de agua a una profundidad de h

$$q_{\text{agua}} = \text{Factor de seguridad} * \left( \frac{P_{\text{agua}} * h^2}{2} \right)$$

$$q_{\text{agua}} = \left( \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1,00 \text{ m})^2}{2} \right) * 1,60$$

$$q_{\text{agua}} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Carga que ejerce la losa en el muro

$$W_{\text{losa}} = CU * \frac{\text{Área tributaria}}{L}$$

$$W_{\text{losa}} = 548 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{0,81 \text{ m}^2}{2,10 \text{ m}}$$

$$W_{\text{losa}} = 211,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Peso del muro en voladizo: para obtener el peso del muro se buscan las figuras geométricas más fáciles de analizar para obtener su área, por lo que se tiene:

Tabla XVII. **Peso del muro en voladizo**

| FIGURA       | BASE (m) | ALTURA (m) | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | PE CONC (kg/m <sup>3</sup> ) | PESO (kg/m)   |
|--------------|----------|------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| 1            | 0,15     | 1,20       | 0,18                   | 2 400                        | 432           |
| 2            | 0,90     | 0,20       | 0,18                   | 2 400                        | 432           |
| <b>TOTAL</b> |          |            |                        |                              | <b>864,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

- Fuerza por sismo

$$F_s = \text{Peso del muro} * 20 \%$$

$$F_s = 864,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0,20$$

$$F_s = 216,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Cálculo de centroide del muro en voladizo: este se calcula tomando como origen la esquina inferior izquierda del muro.

Tabla XVIII. **Cálculo de centroide**

| FIGURA       | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CENTRO X (m) | CENTRO Y (m) | A * X (m <sup>3</sup> ) | A*Y (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 1            | 0,18                   | 0,38         | 0,80         | 0,068                   | 0,144                 |
| 2            | 0,18                   | 0,45         | 0,10         | 0,081                   | 0,018                 |
| <b>TOTAL</b> | <b>0,36</b>            |              |              | <b>0,149</b>            | <b>0,162</b>          |

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Centroide en x o y} = \frac{\sum \text{Área} * X \text{ o } Y}{\text{Área total}}$$

Por lo tanto

$$\text{Centroide en x} = \frac{0,149 \text{ m}^3}{0,36 \text{ m}^2}$$

$$\text{Centroide en x} = 0,413 \text{ m}$$

Y

$$\text{Centroide en y} = \frac{0,162 \text{ m}^3}{0,36 \text{ m}^2}$$

$$\text{Centroide en y} = 0,450 \text{ m}$$

El centroide en x es el brazo para momento producido por el peso del muro y el centroide en y, para la fuerza del sismo.

- Coeficientes de presión activa y pasiva

$$K_a = \frac{1 - \text{seno}(\varphi)}{1 + \text{seno}(\varphi)} = \frac{1 - \text{seno}(34^\circ)}{1 + \text{seno}(34^\circ)} = 0,28$$

$$K_p = \frac{1 + \text{seno}(\varphi)}{1 - \text{seno}(\varphi)} = \frac{1 + \text{seno}(34^\circ)}{1 - \text{seno}(34^\circ)} = 3,54$$

- Presión activa y pasiva

Presión activa será la ejercida por el agua

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \text{peso específico del agua} * \text{altura}^2$$

$$P_a = \frac{1}{2} * 0,28 * \frac{1\,000 \text{ kg}}{\text{m}^3} * (1,00 \text{ m})^2$$

$$P_a = 140 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

La presión pasiva será ejecutada por el suelo

$$P_p = \frac{1}{2} * K_p * \text{peso específico del suelo} * \text{altura}^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} * K_p * 1\,500 * (1,40 \text{ m})^2$$

$$P_p = 2\,655,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Cálculo de momentos

Todos los brazos son calculados tomando como origen la esquina inferior izquierda del muro.

Tabla XIX. **Momentos actuantes en el muro**

| FUERZA                 |          | BRAZO | MOMENTO  | TIPO DE MOMENTO |
|------------------------|----------|-------|----------|-----------------|
| EJECUTOR               | kg/m     | m     | kg-m     |                 |
| Carga de agua (q agua) | 140,00   | 0,73  | 102,67   | Actuante        |
| Fuerza de sismo (Fs)   | 216,00   | 0,45  | 97,20    | Actuante        |
| Carga de losa (Wlosa)  | 211,37   | 0,38  | 89,83    | Resistente      |
| Peso del muro          | 864,00   | 0,41  | 378,00   | Resistente      |
| Presión del suelo      | 2 655,00 | 0,46  | 1 239,00 | Resistente      |

Fuente: elaboración propia.

Al ser un muro de contención por voladizo se debe de chequear su estabilidad contra volteo y deslizamiento.

- Factor de seguridad contra volteo

$$F_v = \frac{\sum \text{Momentos resistentes}}{\sum \text{Momentos actuantes}} \geq 1,50$$

$$F_v = \frac{(1\ 239,00 + 378,00 + 89,83) \frac{\text{kg}}{\text{m}}\text{-m}}{(102,67 + 97,20) \frac{\text{kg}}{\text{m}}\text{-m}}$$

$$F_v = 8,54 \geq 1,50 \text{ OK}$$

- Factor de seguridad contra deslizamiento

$$F_d = \frac{(\sum \text{Fuerzas resistentes}) * \text{coeficiente de fricción}}{\sum \text{Fuerzas actuantes}} \geq 1,50$$

$$F_d = \frac{(864,00 + 211,37 + 2\ 655,00) * 0,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{(140,00 + 216,00) \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

$$F_d = 12,07 \geq 1,50 \text{ OK}$$

- Verificación de presiones

Se calcula la distancia x desde el origen, donde actúan las cargas verticales. Esta se calcula como:

$$x = \frac{\sum \text{Momentos}}{\sum \text{Fuerzas de muro}}$$

$$x = \frac{M_{\text{resistentes}} - M_{\text{actuantes}}}{\text{Fuerzas resistentes}}$$

$$x = \frac{(1\,706,83 - 19,87) \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{m}}{(3\,730,37) \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

$$x = 0,40 \text{ m}$$

- La excentricidad (e) es

$$e = \frac{L}{2} - x$$

$$e = \frac{0,90}{2} - 0,40 \text{ m}$$

$$e = -0,046 \text{ m}$$

Las presiones máximas y mínimas no deben de superar el valor soporte del suelo y tampoco debe haber presiones negativas. Estas se calculan como:

$$q_{\text{mín}}^{\text{máx}} = \frac{W_{\text{muro}} + W_{\text{losa}}}{\text{Franja Unitaria} \cdot L} \cdot \left( 1 \pm \frac{6 \cdot e}{\text{Franja Unitaria} \cdot L^2} \right)$$

En donde

q = presión máxima o mínima

W<sub>muro</sub> = carga del muro

W<sub>losa</sub> = carga de losa

L = base del muro

e = excentricidad

Sustituyendo datos

$$q_{\min}^{\max} = \frac{3\,730,37}{1 \cdot 0,90} * \left( 1 \pm \frac{6 * -0,046}{1 * 0,90^2} \right)$$

$$q_{\min} = 2\,872,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \sim 2,87 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} > 0 \text{ OK}$$

$$q_{\max} = 5\,416,72 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \sim 5,42 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} < 40 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \text{ OK}$$

- Refuerzo de pantalla

- Corte producido por la presión del agua

$$V_a = 1,60 * (\text{Pa})$$

$$V_a = 1,60 * 140$$

$$V_a = 224,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Corte producido por la presión del suelo, suponiendo que no hay agua

$$V_{\text{suelo}} = 1,60 * \left( \frac{1}{2} * K_a * \text{peso específico del suelo} * \text{altura}^2 \right)$$

$$V_{\text{suelo}} = 1,60 * 493,92$$

$$V_{\text{suelo}} = 790,27 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Momento producido por el corte de la presión del agua

$$M_{\text{agua}} = V_a * \frac{\text{altura del agua}}{3}$$

$$M_{\text{agua}} = 224,00 * \frac{1,00}{3}$$

$$M_{\text{agua}} = 74,67 \text{ kg-m}$$

- Momento producido por el corte de la presión del suelo

$$M_{\text{agua}} = V_{\text{suelo}} * \frac{\text{altura del suelo}}{3}$$

$$M_{\text{agua}} = 790,27 * \frac{1,40}{3}$$

$$M_{\text{agua}} = 368,79 \text{ kg-m}$$

Tomando el momento mayor para calcular el área de acero para cubrirlo se obtiene:

$$A_s = \left( b * d - \sqrt{(b * d)^2 - \frac{M_u * b}{0,003825 * f'_c}} \right) * \left( \frac{0,85 * f'_c}{f_y} \right)$$

En donde:

$A_s$  = área de acero

$f_y$  = resistencia del acero

$f'_c$  = resistencia del concreto

$M_u$  = momento analizado

$d$  = peralte, 15 cm – 5 cm de recubrimiento = 10 cm

Sustituyendo datos

$$A_s = \left( 100 * 10 - \sqrt{(100 * 10)^2 - \frac{368,79 * 100}{0,003825 * 210}} \right) * \left( \frac{0,85 * 210}{2810} \right) * 0,01$$
$$A_s = 9,39 \text{ cm}^2$$

Utilizando varillas núm. 4, con un área de 1,26 cm<sup>2</sup>, se obtiene 8 varillas a cada 25 cm.

- Acero por temperatura

$$A_t = 0,0025 * \text{espesor de la pantalla} * \text{franja unitaria}$$

$$A_t = 0,0025 * 15 * 100$$

$$A_t = 3,75 \text{ cm}^2$$

Proponiendo 3 varillas núm. 3 a cada 45 cm para cubrirlo. Los momentos producidos en el talón y en la punta son resistidos por el refuerzo mínimo, por lo que se proponen varillas núm.4 a cada 35 cm, con un recubrimiento de 7,50 cm.

### **2.10.3. Diseño de losa inferior del tanque**

La losa inferior tendrá que soportar el peso del agua almacenada, como una carga constante, y ser impermeable, considerando su exposición con el suelo.

- Volumen de agua

$$V_{\text{agua}} = \text{Altura} * \text{largo} * \text{ancho}$$

$$V_{\text{agua}} = 1,00 \text{ m} * 1,80 \text{ m} * 1,80 \text{ m}$$

$$V_{\text{agua}} = 3,24 \text{ m}^3$$

- Peso del agua sobre la losa

$$W_{\text{agua}} = \text{Peso del agua} * V_{\text{agua}}$$

$$W_{\text{agua}} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,24 \text{ m}^3$$

$$W_{\text{agua}} = 3\,240,00 \text{ kg} \sim 3,24 \text{ ton}$$

- Peso del agua sobre la losa inferior

$$W_{\text{agua sobre losa}} = \frac{W_{\text{agua}}}{\text{Área de losa inferior}}$$

$$W_{\text{agua sobre losa}} = \frac{3,24 \text{ ton}}{3,24 \text{ m}^2}$$

$$W_{\text{agua sobre losa}} = 1,00 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

Como el valor soporte del suelo es mayor que el peso que el agua ejerce en la losa, no se requiere más que el refuerzo mínimo. Sin embargo, por términos de impermeabilidad se propone que la losa inferior tenga un espesor de 20 cm de concreto con el refuerzo mínimo.

## 2.11. Línea de conducción

Se diseñará desde el tanque de almacenamiento donde se encontrará una bomba sumergible, hasta el tanque de distribución. Como es una línea por bombeo, se realizó un análisis del diámetro económico. Por razones hidráulicas y variaciones mínimas se escogió un diámetro de 1 ¼”, el rango máximo de los diámetros teóricos. Los datos de diseño se presentan a continuación:

- Longitud del tramo: 419,77 m (ya incluye el factor de 5 % por inclinación)
- Caudal de bombeo: 0,318 l/s
- Tipo de tubería: PVC
- Presión de trabajo de la tubería: 250 PSI (175,77 m.c.a.)
- Cota de salida: 1 906,25 m
- Cota de entrada: 2 004,28 m
- Diámetro: 1 pulgadas
- Velocidad del flujo: 0,40 m/s

### 2.11.1. Carga dinámica total

Es la altura total a vencer por la bomba. También se le conoce como la altura dinámica total. Se utiliza para determinar el diámetro económico. Se calcula como:

$$CDT = H_s + H_c + H_i + H_f + h_m + h_v$$

Donde

CDT = carga dinámica total, metros

H<sub>s</sub> = altura de nivel dinámico a boca de pozo, metros

H<sub>c</sub> = pérdidas en carga de succión, metros

H<sub>i</sub> = altura de descarga, metros

Hf = pérdidas de carga por fricción en la línea, metros

hm = pérdidas menores, metros

hv = pérdidas por velocidad, metros

- Altura de nivel dinámico a boca de pozo (Hs)

Diferencia entre la boca del pozo y la cota del nivel dinámico del tanque.

$$Hs = CT \text{ boca del pozo} - CT \text{ nivel dinámico}$$

$$Hs = 1\,906,50 \text{ m} - 1\,905,85 \text{ m}$$

$$Hs = 0,65 \text{ m}$$

- Pérdidas en carga de succión (Hc)

Es la pérdida que se genera por el paso del agua en la tubería sumergida hasta la bomba. Para este proyecto se utilizará una bomba sumergible, por lo que esta pérdida de carga es igual a cero.

$$Hc = 0 \text{ m}$$

- Altura de descarga (Hi)

Es la diferencia de nivel que existe entre la cota de colocación de la bomba y la altura del tanque de distribución.

$$Hi = CT \text{ tanque distribución} - CT \text{ bomba}$$

$$Hi = 2\,004,28 \text{ m} - 1\,905,60 \text{ m}$$

$$Hi = 98,68 \text{ m}$$

- Pérdidas de carga por fricción en la línea, (Hf)

Pérdida calculada por la ecuación de Hazzen & Williams. Esta representa la pérdida del agua cuando va por la tubería. Se calcula como:

$$H_f = \frac{1\,743,811 * L * Q^{1,85}}{\phi^{4,87} * C^{1,85}}$$

Donde

L = longitud de tubería al tanque de distribución, metros

Q = caudal a transportar en la tubería, litros por segundo

∅ = diámetro de la tubería a colocar, pulgadas

C = coeficiente de fricción de la tubería (150 para PVC)

Sustituyendo valores

$$H_f = \frac{1\,743,811 * 419,77 * 0,318^{1,85}}{1^{4,87} * 150^{1,85}}$$

$$H_i = 8,29 \text{ m}$$

- Pérdidas por velocidad (hv)

Son las pérdidas que se producen en la tubería por cambios de velocidad en el flujo.

$$h_v = \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde

V = velocidad del flujo, metros por segundo

g = aceleración de la fuerza de gravedad, 9,81 m/s<sup>2</sup>

Sustituyendo valores

$$h_v = \frac{(0,63)^2}{2 * 9,81}$$
$$h_v = 0,020 \text{ m}$$

- Pérdidas menores (hm)

Estas consideran los accesorios del sistema. Se estiman como un 10 % de las perdidas por fricción.

$$h_m = 0,10 * H_f$$
$$h_m = 0,829 \text{ m}$$

Entonces la carga dinámica total es igual a

$$CDT = 0,65 \text{ m} + 0 + 98,68 \text{ m} + 8,29 \text{ m} + 0,020 \text{ m} + 0,829 \text{ m}$$
$$CDT = 108,47 \text{ m}$$

### **2.11.2. Potencia del equipo de bombeo**

Se determinó la colocación de una bomba eléctrica sumergible, con capacidad de 340 ft de cabeza y de 5 gal/min. Por lo que es necesaria una extensión de red de energía eléctrica, la cual debe ser solicitada por la municipalidad a la empresa de distribución hacia la caseta de control de la bomba.

El cálculo de la potencia de la bomba depende del caudal de bombeo, la carga dinámica total, y la eficiencia de la bomba. De igual forma se debe verificar que se encuentre una bomba de la capaz de elevar la carga dinámica y de proveer el caudal diseñado. La ecuación de la potencia es:

$$POT = \frac{Q * CDT}{76 * EFI}$$

Donde

POT = potencia requerida por la bomba en caballos de fuerza

Q = caudal de bombeo, litros por segundo

CDT = carga dinámica total, metros

EFI = eficiencia del equipo de bombeo (rango entre 60 y 70 %)

Reemplazando los datos

$$POT = \frac{0,318 \frac{l}{s} * 108,47 m}{76 * 0,6}$$

$$POT = 0,756 HP$$

En el mercado para la carga dinámica a vencer la potencia de la bomba debería ser de 1,5 a 2 HP de succión vertical, dando una eficiencia de aproximadamente 23 %.

### **2.11.3. Sobrepresión o golpe de ariete**

El golpe de ariete es un fenómeno que se produce al momento de cerrar o abrir una válvula repentinamente, o por el paro o arranque de la bomba. Esto genera una variación de presión en la tubería por encima o por debajo de la presión normal de operación. Este fenómeno puede provocar ruptura de la presión (presión positiva) o aplastamiento (presión negativa).

Para su determinación se debe empezar calculando la celeridad como:

$$\alpha = \frac{1\,420}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} * \frac{\phi_{INT}}{e}}}$$

Donde

$\alpha$  = celeridad de onda, metros por segundo.

K = módulo de elasticidad volumétrica del agua ( $2,07 \cdot 10^4$  kg/cm<sup>2</sup>).

E = módulo de elasticidad del material de la tubería (para el PVC es de  $3 \cdot 10^4$  kg/cm<sup>2</sup>).

$\phi_{INT}$  = diámetro interno, milímetros.

e = espesor de pared del tubo, milímetros.

Entonces

$$\alpha = \frac{1\,420}{\sqrt{1 + \frac{20\,700}{30\,000} * \frac{29,49}{1,96}}}$$

$$\alpha = 420,91 \text{ m/s}$$

Ahora se procede a calcular la sobrepresión, la cual se determina con la siguiente expresión.

$$\Delta P = \frac{\alpha * V}{g}$$

Donde

$\Delta P$  = sobrepresión, metros columna de agua

$\alpha$  = celeridad, metros por segundo

V = velocidad del flujo, metros por segundo

g = aceleración de la fuerza de gravedad, 9,81 m/s)

Sustituyendo datos

$$\Delta P = \frac{420,91 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,63 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$
$$\Delta P = 27,03 \text{ m}$$

La presión a resistir de la tubería es igual a la sobrepresión más la altura de bombeo. Esto es menor a la presión de trabajo de la tubería.

$$\Delta P + H_i < \text{Presión de trabajo}$$
$$27,03 \text{ m} + 98,68 \text{ m} < 175,77 \text{ m.c.a.}$$
$$125,71 \text{ m.c.a.} < 175,77 \text{ m.c.a.}$$

La tubería de 250 PSI es capaz de soportar la sobrepresión, pero para proteger al equipo de bombeo se propone implementar una válvula de cheque horizontal, después de la bomba para evitar daños en el sistema.

## 2.12. Red de distribución

Se diseñará como ramales abiertos debido a la dispersión de las viviendas, y la distribución de las calles existentes, por lo que su diseño se basará en las recomendaciones de Unepar.

Primero se calculará el caudal unitario, el cual servirá para obtener el caudal por vivienda y se comparará con el caudal de uso simultáneo. Este se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_u = \frac{Q_{hm}}{N_{tv}}$$

En donde

Qu = caudal unitario, litros por segundo por vivienda

Qhm = caudal de hora máximo, litros por segundo

Ntv = número total de viviendas futuras

Reemplazando los datos

$$Qu = \frac{0,212 \text{ l/s}}{24 \text{ viviendas}}$$
$$Qu = 0,009 \text{ l/s/vivienda}$$

Ahora se determinará el caudal de uso simultáneo y el caudal por vivienda. Estos se calculan por ramal, en el primer tramo se considera el número total de viviendas y conforme se vaya avanzando, el número de viviendas irá disminuyendo. Como ejemplo se trabajará el tramo de la estación 1 a la 2.

Se determinará el caudal de uso simultaneo, como:

$$Q1 = k * \sqrt{(N - 1)}$$

Donde

Q1 = caudal de uso simultáneo, litros por segundo por vivienda

k = coeficiente, oscila entre 0,15 y 0,20

N = total de viviendas en el tramo

Sustituyendo datos

$$Q1 = 0,15 * \sqrt{(24 - 1)}$$
$$Q1 = 0,719 \text{ l/s}$$

Este caudal es la probabilidad estadística del uso simultáneo de las conexiones domiciliarias en un ramal. Este es mayor de 0,2 l/s, el cual es aceptable.

Se procede a calcular el caudal por vivienda que es el producto del caudal unitario por el número de viviendas en el tramo.

$$Q_v = N * Q_u$$

Donde

$Q_v$  = caudal de vivienda, litros por segundo

$N$  = número de viviendas que llegan al tramo

$Q_u$  = caudal unitario, litros por segundo

Sustituyendo datos

$$Q_v = 24 * 0,009 \frac{l}{s}$$

$$Q_v = 0,213 \frac{l}{s}$$

Para determinar el caudal de diseño de un tramo en la red, se debe comparar el caudal de uso simultáneo con el caudal por vivienda del mismo tramo. El mayor valor entre estos dos datos será el caudal de diseño. Por los que se tiene.

$$0,719 \frac{l}{s} > 0,213 \frac{l}{s}$$

Entonces

$$Q_{\text{diseño}} = 0,719 \frac{l}{s}$$

La forma de diseñar los ramales es mediante la ecuación de Hazen & Williams. Por ello se debe verificar las velocidades y las presiones que se encuentran en la red.

A continuación se presenta el diseño del tramo Núm. 1 que va de la estación E-1 a E-2. Los datos del tramo son:

- Longitud: 255,67 m.
- Cota E-1: 2 003,18 m.
- Cota E-2: 1 950,22 m (considerando los 0,60 m de profundidad mínima de la tubería).
- Número de viviendas futuras en el tramo: 8.
- Número de viviendas acumuladas: 24

Con la ecuación de Hazen & Williams se calcula el diámetro a utilizar.

$$D = \sqrt[4,87]{\frac{1\,743,811 * 255,67 * 1,05 * 0,719^{1,85}}{150^{1,85} * 52,96}}$$

$$D = 0,85 \text{ pulgadas.}$$

Se analiza un rango de diámetro, por lo que se divide el tramo de E-1 a E-2 en 7 estaciones. Esto tiene el único objetivo de verificar los 0,6 m de profundidad en el tramo, también en ellos se ubica un accesorio. Por lo que se propone un diámetro de 2 pulgadas, el cual cumple con la población actual y futura.

$$D \cong 2 \text{ pulgadas}$$

Con dicho diámetro, de la estación 1,G a 2 se tiene una pérdida real de 0,07 m, una cota piezométrica igual a 1 958,05 m, una velocidad de 0,28 m/s, una presión dinámica de 7,83 m.c.a y la presión estática de 52,96 m.c.a. Todos los resultados están en el rango aceptable (ver anexos).

### 2.13. Tanque de almacenamiento

Tiene la función de recibir el agua proveniente del ariete hidráulico, con el fin de ser impulsada por la bomba vertical hacia el tanque de distribución. Su volumen se calculó como

$$\text{Vol} = \frac{\text{QDM} * 86\ 400}{1\ 000} * 50 \%$$

Donde

Vol = volumen del tanque de almacenamiento, metro cúbico

QDM = caudal máximo diario, litros por segundo

Reemplazando datos

$$\text{Vol} = \frac{0,159 * 86\ 400}{1\ 000} * 50 \%$$
$$\text{Vol} = 6,87 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque será de 7,20 m<sup>3</sup>. Su diseño se realizó de la misma forma que la caja de captación. A continuación se presenta un resumen de los datos de diseño.

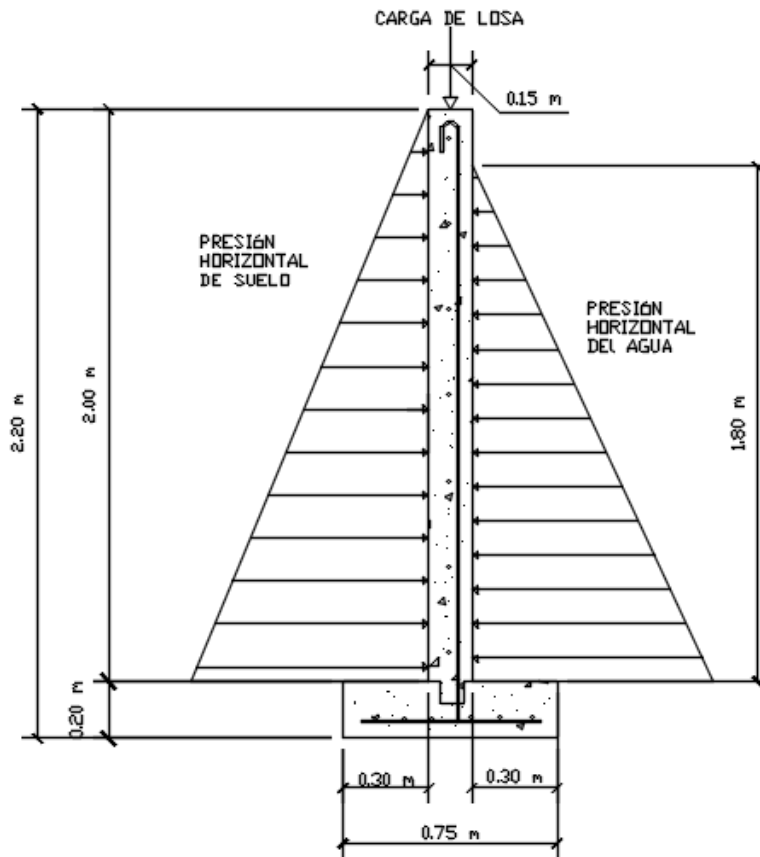
Tabla XX. **Resumen diseño de tanque de almacenamiento**

| <b>ELEMENTO</b>                          | <b>DATO</b>                |
|------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Losa de cubierta</b>                  |                            |
| Dimensiones                              | 2,30 m * 2,30 m            |
| Espesor                                  | 0,10 m                     |
| Armado                                   | Núm. 3 @ 30cm              |
| <b>Muros del tanque</b>                  |                            |
| Dimensiones                              | Ver figura.                |
| - Espesor de pantalla                    | 0,15 m                     |
| - Altura de la pantalla                  | 2,00 m                     |
| - Espesor de la base                     | 0,20 m                     |
| - Ancho de la base                       | 0,65 m                     |
| - Largo del muro                         | 2,30 m                     |
| Factor de seguridad contra volteo        | 18,46                      |
| Factor de seguridad contra deslizamiento | 18,70                      |
| Verificación de presiones                | No hay presiones negativas |
| - Presión máxima                         | 1,74 ton/m <sup>2</sup>    |
| - Presión mínima                         | 0,58 ton/m <sup>2</sup>    |
| Armado de pantalla                       |                            |
| - Acero vertical                         | Núm. 4 @ 30cm              |
| - Acero por temperatura                  | Núm. 3 @ 30cm              |
| Armado de la base                        |                            |
| - Acero por temperatura                  | Núm. 4 @ 20cm              |
| - Acero longitudinal                     | Núm. 4 @ 30cm              |
| <b>Losa inferior</b>                     |                            |
| Dimensión                                | 2,0 m * 2,0 m              |
| Espesor                                  | 0,20 m                     |
| Armado                                   | Núm. 3 @ 30cm              |

Fuente: elaboración propia.

Detalles de las dimensiones de los muros:

Figura 17. **Muro en voladizo del tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

El diseño final del tanque de almacenamiento se puede observar en los planos constructivos (ver anexos).

## 2.14. Tanque de distribución

Debe tener la capacidad de regular las variaciones horarias de la demanda; la capacidad de la fuente; las dimensiones del terreno donde estará y el tipo y capacidad soporte del suelo. Su cota de salida es de importancia para el diseño

de la red de distribución para determinar las presiones de servicio. Su ubicación tiene como objetivo que la red de distribución trabaje por gravedad y abarque todas las viviendas actuales sin necesidad de un rebombeo.

Su volumen se calculó como

$$\text{Vol} = \frac{\text{QM} * 86\ 400}{1\ 000} * 50 \%$$

Donde

Vol = volumen del tanque de almacenamiento, metro cúbico.

QM = caudal medio diario, litros por segundo.

50 % = factor de seguridad para sistemas de bombeo va de 40 %-65 %, según normas de diseño.

Reemplazando datos

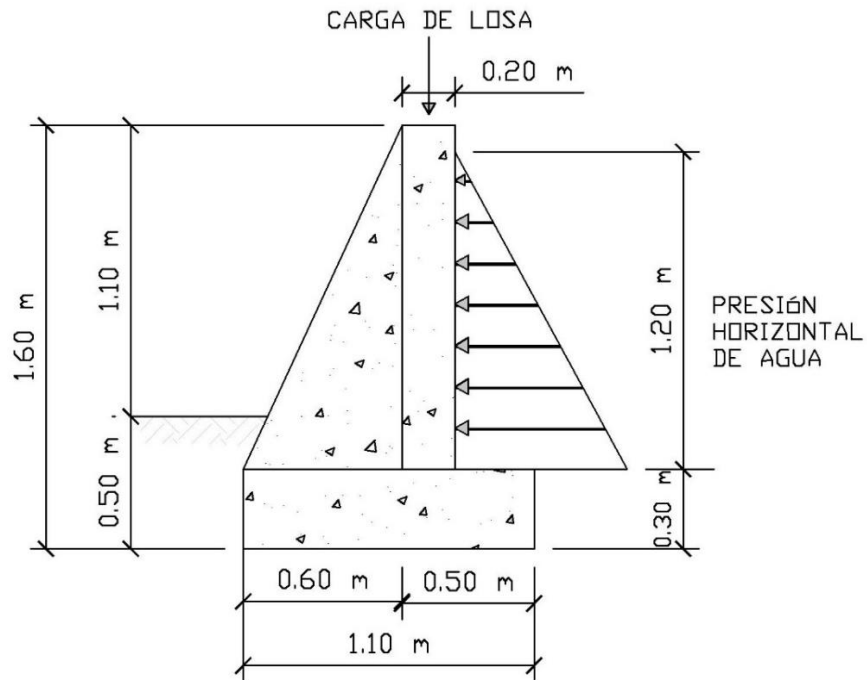
$$\text{Vol} = \frac{0,106 * 86\ 400}{1\ 000} * 50 \%$$
$$\text{Vol} = 4,58 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque superficial será de 5,30 m<sup>3</sup>. Su diseño se realizó como muros de contención por gravedad, los cálculos se encuentran en los anexos. La losa de cubierta y la losa inferior se diseñaron de la misma forma que los tanques anteriores.

#### **2.14.1. Diseño de muros**

Las paredes del tanque de distribución se diseñarán como muros de contención de gravedad de concreto ciclópeo. Esto por el traslado de material y facilidad de realizar, con carga en la parte superior debido a la losa de cubierta.

Figura 18. Muro por gravedad del tanque de distribución



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

- Datos a utilizar
  - Peso específico del concreto ciclópeo: 2 500 kg/m<sup>3</sup>
  - Peso específico del agua: 1 000 kg/m<sup>3</sup>
- Fuerzas involucradas
  - Presión horizontal de agua a una profundidad h

$$P_{\text{agua}} = \text{peso específico del agua} * h$$

$$P_{\text{agua}} = 1,20 \text{ m} * 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{\text{agua}} = 1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Carga de la presión de agua a una profundidad de h

$$q \text{ agua} = \frac{P_{\text{agua}} * h}{2}$$

$$q \text{ agua} = \frac{1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,20 \text{ m}}{2}$$

$$q \text{ agua} = 720 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Carga que ejerce la losa en el muro

$$W_{\text{losa}} = CU * \frac{\text{Área tributaria}}{L}$$

$$W_{\text{losa}} = 548 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{1,56 \text{ m}^2}{2,50 \text{ m}}$$

$$W_{\text{losa}} = 342,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Peso del muro de gravedad: se obtuvieron las figuras geométricas de la sección del muro más fáciles de analizar.

Tabla XXI. **Peso del muro de gravedad**

| FIGURA       | BASE (m) | ALTURA (m) | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | PE CONC (kg/m <sup>3</sup> ) | PESO (kg/m)     |
|--------------|----------|------------|------------------------|------------------------------|-----------------|
| 1            | 0,20     | 1,40       | 0,28                   | 2 500                        | 700,00          |
| 2            | 1,10     | 0,30       | 0,33                   | 2 500                        | 1 050,00        |
| 3            | 0,60     | 1,40       | 0,42                   | 2 500                        | 825,00          |
| <b>TOTAL</b> |          |            |                        |                              | <b>2 575,00</b> |

Fuente: elaboración propia.

- Fuerza por sismo

$$F_s = \text{Peso del muro} * 20 \%$$

$$F_s = 2\,575,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0,20$$

$$F_s = 515,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

- Centroide del muro de gravedad: se calculó tomando como origen la esquina inferior izquierda del muro.

Tabla XXII. **Cálculo de centroide**

| FIGURA       | ÁREA (m <sup>2</sup> ) | CENTRO X (m) | CENTRO Y (m) | A * X (m <sup>3</sup> ) | A*Y (m <sup>3</sup> ) |
|--------------|------------------------|--------------|--------------|-------------------------|-----------------------|
| 1            | 0,28                   | 0,70         | 1,00         | 0,196                   | 0,280                 |
| 2            | 0,33                   | 0,55         | 0,15         | 0,182                   | 0,050                 |
| 3            | 0,42                   | 0,40         | 0,77         | 0,168                   | 0,322                 |
| <b>TOTAL</b> | <b>1,09</b>            |              |              | <b>0,546</b>            | <b>0,652</b>          |

Fuente: elaboración propia.

Centroide en x = 0,530 m

Centroide en y = 0,633 m

El centroide en x es el brazo para momento producido por el peso del muro y el centroide en y, para la fuerza del sismo.

- Cálculo de momentos

Todos los brazos son calculados tomando como origen la esquina inferior izquierda del muro.

Tabla XXIII. **Momentos actuantes en el muro**

| FUERZA                 |          | BRAZO | MOMENTO  | TIPO DE MOMENTO |
|------------------------|----------|-------|----------|-----------------|
| EJECUTOR               | kg/m     | m     | kg - m   |                 |
| Carga de agua (q agua) | 720,00   | 0,40  | 288,00   | Actuante        |
| Fuerza de sismo (Fs)   | 515,00   | 0,63  | 325,75   | Actuante        |
| Carga de losa (Wlosa)  | 342,50   | 0,70  | 239,75   | Resistente      |
| Peso del muro          | 2 575,00 | 0,53  | 1 363,75 | Resistente      |

Fuente: elaboración propia.

Al ser un muro por gravedad se debe chequear su estabilidad contra volteo y deslizamiento.

- Factor de seguridad contra volteo

$$F_v = \frac{\sum \text{Momentos resistentes}}{\sum \text{Momentos actuantes}} \geq 1,50$$

$$F_v = \frac{1\ 603,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\text{-m}}{613,75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\text{-m}}$$

$$F_v = 2,61 \geq 1,50 \text{ OK}$$

- Factor de seguridad contra deslizamiento

$$F_d = \frac{\sum \text{Fuerzas resistentes}}{\sum \text{Fuerzas actuantes}} \geq 1,50$$

$$F_d = \frac{2\ 917,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{1\ 235,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

$$F_d = 2,36 \geq 1,50 \text{ OK}$$

- Verificación de presiones

Se calcula la distancia  $x$  desde el origen, donde actúan las cargas verticales.

$$x = \frac{M_{\text{muro}} + M_{\text{losa}} - M_{\text{agua}}}{W_{\text{muro}} + W_{\text{losa}}}$$

$$x = \frac{1\,315,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot \text{m}}{2\,917,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}$$

$$x = 0,45 \text{ m}$$

Para que no existan presiones negativas, se debe cumplir que tres veces la distancia  $x$  debe ser mayor a la base del muro ( $3x > B$ ).

$$3x > B$$

$$3 \cdot 0,42 \text{ m} > 1,70 \text{ m}$$

$$1,35 \text{ m} > 1,70 \text{ m OK}$$

- La excentricidad ( $e$ ) es

$$e = \frac{L}{2} - x$$

$$e = \frac{1,70}{2} - 0,45 \text{ m}$$

$$e = 0,10 \text{ m}$$

Las presiones máximas y mínimas no deben superar el valor soporte del suelo y tampoco debe haber presiones negativas.

$$q_{\text{máx}} = 4\,085,95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \sim 4,09 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} < 40 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \text{ OK}$$

$$q_{\text{mín}} = 1\,218,60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \sim 1,22 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} > 0 \text{ OK}$$

A continuación se presenta un resumen del diseño del tanque de distribución:

Tabla XXIV. **Resumen diseño de tanque de distribución**

| <b>ELEMENTO</b>                          | <b>DATO</b>                |
|------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Losa de cubierta</b>                  |                            |
| Dimensiones                              | 2,50 m * 2,50 m            |
| Espesor                                  | 0,10 m                     |
| Armado                                   | Núm. 3 @ 30cm              |
| <b>Muros del tanque</b>                  |                            |
| Dimensiones                              | Ver figura.                |
| Factor de seguridad contra volteo        | 2,61                       |
| Factor de seguridad contra deslizamiento | 2,36                       |
| Verificación de presiones                | No hay presiones negativas |
| - Presión máxima                         | 4,09 ton/m <sup>2</sup>    |
| - Presión mínima                         | 1,22 ton/m <sup>2</sup>    |
| <b>Losa inferior</b>                     |                            |
| Dimensión                                | 2,10 m * 2,10 m            |
| Espesor                                  | 0,20 m                     |
| Armado                                   | Núm. 3 @ 35cm              |

Fuente: elaboración propia.

El diseño final del tanque de distribución se puede observar en los planos constructivo (ver anexos).

### 2.15. **Conexión predial**

Las conexiones prediales consisten en un chorro ubicado en el límite de cada predio. Este es alimentado por la red de distribución y una válvula de paso

con su respectiva caja de seguridad, con contador de agua para control de consumo.

## **2.16. Sistema de desinfección**

Según los resultados de calidad de agua, es necesario un tratamiento de desinfección simple, por lo que se proponen dos tratamientos. El primero es la utilización de un muro tipo gavión con geotextil en la caja de captación como método de filtración para eliminar los sólidos en suspensión.

El segundo tratamiento es la utilización de un sistema de dosificación de cloro, el cual se hace mediante una solución de cloro en un recipiente de 50 galones. Estas son inyectadas al sistema mediante un motor que tenga la capacidad de vencer la presión del sistema, 150 PSI y debe ubicarse en la caseta de bombeo. Para garantizar un tratamiento preventivo contra bacterias y virus, la cantidad mínima de cloro que se le debe aplicar al agua es de 2 partes por millón, en otras palabras  $2 \text{ g/m}^3$  de agua, según Coguanor NGO 29 001, en el tanque de distribución y evitar intoxicación por el uso convencional de tabletas de hipoclorito de calcio. El equipo debe constar de una bomba dosificadora, llave de inyección, un interruptor de flujo con su respectivo medidor de flujo.

## **2.17. Presupuesto**

El presupuesto de la introducción de agua potable en el caserío El Astillero, aldea El Hato, Antigua Guatemala, se presenta a continuación.

Tabla XXV. **Presupuesto del sistema de agua potable**

| Núm.                            | DESCRIPCIÓN                   | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. (Q)    | TOTAL              |
|---------------------------------|-------------------------------|--------|----------|-------------|--------------------|
| 1                               | Trazo y replanteo topográfico | global | 1,00     | Q3 529,18   | Q3 529,18          |
| 2                               | Línea de conducción           | global | 1,00     | Q128 244,69 | Q128 244,69        |
| 3                               | Red de distribución           | global | 1,00     | Q31 337,73  | Q31 337,73         |
| 4                               | Caja de captación             | unidad | 1,00     | Q30 809,67  | Q30 809,67         |
| 5                               | Tanque de almacenamiento      | unidad | 1,00     | Q38 046,09  | Q38 046,09         |
| 6                               | Tanque de distribución        | unidad | 1,00     | Q25 818,17  | Q25 818,17         |
| 7                               | Presa                         | unidad | 1,00     | Q23 313,81  | Q23 313,81         |
| <b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b> |                               |        |          |             | <b>Q281 099,33</b> |

Fuente: elaboración propia.

## 2.18. Cronograma

Se especifican las actividades a realizarse con monto y tiempo estimado.

Tabla XXVI. **Cronograma de inversión**

| REGLÓN                        | 1                 | 2                  | 3                 | 4                 |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Trazo y replanteo topográfico | Q3 529,18         |                    |                   |                   |
| Línea de conducción           |                   | Q128 244,69        |                   |                   |
| Red de distribución           |                   |                    | Q31 337,73        |                   |
| Caja de captación             | Q30 809,67        |                    |                   |                   |
| Tanque de almacenamiento      |                   | Q38 046,09         |                   |                   |
| Tanque de distribución        |                   | Q38 046,09         |                   |                   |
| Presa                         | Q23 313,81        |                    |                   |                   |
| <b>TOTAL POR MES</b>          | <b>Q57 652,65</b> | <b>Q140 214,52</b> | <b>Q79 791,21</b> | <b>Q15 668,86</b> |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Cronograma de ejecución**

| <b>REGLÓN</b>                 | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Trazo y replanteo topográfico |          |          |          |          |
| Línea de conducción           |          |          |          |          |
| Red de distribución           |          |          |          |          |
| Caja de captación             |          |          |          |          |
| Tanque de almacenamiento      |          |          |          |          |
| Tanque de distribución        |          |          |          |          |
| Presa                         |          |          |          |          |
| <b>TOTAL POR MES</b>          |          |          |          |          |

Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. La construcción de un sistema de agua potable vendrá a mejorar la calidad de vida de los pobladores del caserío El Astillero. Se contará con agua entubada y con un sistema de desinfección para evitar que se utilicen fuentes contaminadas.
2. Es necesario tener un sistema de bombeo mecánico para esta situación, con el propósito de contar con el recurso hídrico de forma permanente y con costos únicamente de mantenimiento.
3. El sistema de desinfección del agua potable es por disolución, por seguridad de las partículas por millón de cloro que se tendrán en el tanque de distribución, previniendo la intoxicación por tener mayores concentraciones, que se da con el método de tabletas.
4. En el presupuesto debe considerarse la ampliación de red hacia el punto de bombeo, con las autoridades de la Municipalidad y la empresa distribuidora de energía.



## RECOMENDACIONES

1. En la construcción de todo el proyecto es de gran importancia que los materiales de construcción sean sometidos a pruebas de laboratorio para garantizar la seguridad y condiciones óptimas de las mismas.
2. Para mejorar la calidad del agua es necesario remover actividades de los pobladores antes de la presa como el uso de la piedra de lavado de ropa.
3. Se debe construir el proyecto con base a los planos constructivos y las normas específicas.
4. Es importante que la Municipalidad, en coordinación con el Ministerio de Salud Pública, realicen una campaña educativa acerca del uso adecuado del agua potable.
5. Se debe realizar por parte de la Municipalidad un mantenimiento adecuado a los distintos componentes del sistema de agua potable.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ARMAS BARRIOS, Oscar David. *Diseño de introducción de agua potable de la aldea Rancho de Teja, del municipio de Sacapulas, El Quiche*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2005. 69 p.
2. BARRERA CHINCHILLA, Miguel Angel. *Diseño del sistema de agua potable por gravedad y bombeo en la aldea Joconal y escuela primaria en la aldea Campanario Progreso, municipio de La Unión, departamento de Zacapa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2011.141 p.
3. CUALLA LÓPEZ, Alfredo Ricardo. *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. 541 p.
4. JIMÉNEZ, José Manuel. *El ariete hidráulico*. [en línea]. <[http://www.terra.org/data/ariete\\_super.pdf](http://www.terra.org/data/ariete_super.pdf)>. [Consulta: 13 de septiembre de 2012].
5. LETONA FLORES, José Antonio. *Diseño de introducción de agua potable por gravedad en el caserío Oratorio, aldea Chuaxic, Sololá. Cuantificación de daños en caminos y puentes causados por la tormenta Stan en el municipio de Sololá, departamento de Sololá*.

Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2007. 151 p.

6. MENDOZA, Jorge Estuardo. *Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable por bombeo para la aldea San José El Tablón, Villa Canales, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. 2014. 61 p.
7. RUIZ HERNÁNDEZ, Julio Estuardo. *Diseño de la introducción de agua potable para el caserío San Matías, municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2013. 92 p.
8. SIMMONS, Charles S. ; TÁRANO T. , José Manuel ; PINTO Z., José Humberto. *Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala*. Guatemala : Ministerio de Educación Pública "José de Pineda Ibarra", 1959. 1000 p.
9. VELA MORALES, Edwin Ricardo A. *Diseño de la ampliación del sistema de agua potable para Antigua Guatemala y del puente vehicular entre las aldeas San Juan El Obispo y San Gaspar, Antigua Guatemala, Sacatepéquez*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2014. 213 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Tablas de diseño

Cálculo hidráulico de línea de conducción:

| TRAMO |    | DIST<br>HORI (m) | NÚMERO<br>DE TUBOS | COTA DE TERRENO |          | Diámetro<br>calculado | Diámetro<br>propuesto | Chequeo<br>diámetro |
|-------|----|------------------|--------------------|-----------------|----------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| EST   | PO |                  |                    | INCIAL          | FINAL    |                       |                       |                     |
| 0     | 1  | 399,78           | 70                 | 1 905,6         | 2 004,28 | 0,60                  | 1                     | VERDADERO           |

| TIPO DE<br>TUBERÍA | coef<br>"C" | Dif<br>Cotas | Hf<br>diam<br>prop | Cota piez | Velocidad | Chequeo<br>velocidad | Presión<br>dinámica<br>m.c.a. | Presión<br>estática<br>m.c.a. |
|--------------------|-------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| PVC                | 150         | 98,68        | 8,29               | 1 897,31  | 0,63      | VERDADERO            | -106,97                       | 98,68                         |

Horas de bombeo y consumo de energía por mes, según año:

| AÑO   | POB.<br>FUTURA | QM    | QDM   | QB    | HORA<br>BOM | POT HP | KWH/MES | Kwh/año  |
|-------|----------------|-------|-------|-------|-------------|--------|---------|----------|
| 2 016 | 92             | 0,069 | 0,104 | 0,318 | 7,83        | 2      | 350,47  | 4 205,65 |
| 2 017 | 94             | 0,071 | 0,106 | 0,318 | 8,00        | 2      | 358,08  | 4 296,96 |
| 2 018 | 96             | 0,072 | 0,108 | 0,318 | 8,18        | 2      | 366,14  | 4 393,64 |
| 2 019 | 98             | 0,074 | 0,111 | 0,318 | 8,35        | 2      | 373,75  | 4 484,95 |
| 2 020 | 100            | 0,075 | 0,113 | 0,318 | 8,52        | 2      | 381,36  | 4 576,26 |
| 2 021 | 102            | 0,077 | 0,115 | 0,318 | 8,69        | 2      | 388,96  | 4 667,57 |
| 2 022 | 104            | 0,078 | 0,117 | 0,318 | 8,86        | 2      | 396,57  | 4 758,88 |
| 2 023 | 107            | 0,080 | 0,121 | 0,318 | 9,11        | 2      | 407,76  | 4 893,16 |
| 2 024 | 109            | 0,082 | 0,123 | 0,318 | 9,28        | 2      | 415,37  | 4 984,47 |
| 2 025 | 111            | 0,084 | 0,125 | 0,318 | 9,45        | 2      | 422,98  | 5 075,78 |
| 2 026 | 114            | 0,086 | 0,129 | 0,318 | 9,71        | 2      | 434,62  | 5 215,44 |
| 2 027 | 116            | 0,087 | 0,131 | 0,318 | 9,88        | 2      | 442,23  | 5 306,75 |
| 2 028 | 119            | 0,090 | 0,134 | 0,318 | 10,13       | 2      | 453,42  | 5 441,03 |
| 2 029 | 121            | 0,091 | 0,137 | 0,318 | 10,30       | 2      | 461,03  | 5 532,34 |
| 2 030 | 124            | 0,093 | 0,140 | 0,318 | 10,56       | 2      | 472,67  | 5 671,99 |
| 2 031 | 126            | 0,095 | 0,142 | 0,318 | 10,73       | 2      | 480,27  | 5 763,30 |
| 2 032 | 129            | 0,097 | 0,146 | 0,318 | 10,98       | 2      | 491,46  | 5 897,58 |
| 2 033 | 132            | 0,099 | 0,149 | 0,318 | 11,24       | 2      | 503,10  | 6 037,23 |
| 2 034 | 135            | 0,102 | 0,152 | 0,318 | 11,49       | 2      | 514,29  | 6 171,51 |
| 2 035 | 138            | 0,104 | 0,156 | 0,318 | 11,75       | 2      | 525,93  | 6 311,16 |
| 2 036 | 141            | 0,106 | 0,159 | 0,318 | 12,00       | 2      | 537,12  | 6 445,44 |

Continuación apéndice 1.

Cálculo hidráulico de la red de distribución:

| TRAMO |     | DIST HORI<br>(m) | NÚMERO<br>DE TUBOS | COTA DE TERRENO |          | DIF DE<br>COTAS | PENDIENTE |
|-------|-----|------------------|--------------------|-----------------|----------|-----------------|-----------|
| EST   | PO  |                  |                    | INICIAL         | FINAL    |                 |           |
| 1     | 1,A | 3,132            | 0,6                | 2 003,18        | 2 002,00 | 1,18            | 38 %      |
| 1,A   | 1,B | 76,344           | 13,4               | 2 002,00        | 1 987,81 | 14,19           | 19 %      |
| 1,B   | 1,C | 5,648            | 1,0                | 1 987,81        | 1 986,40 | 1,41            | 25 %      |
| 1,C   | 1,D | 44,026           | 7,8                | 1 986,40        | 1 976,00 | 10,40           | 24 %      |
| 1,D   | 1,E | 21,383           | 3,8                | 1 976,00        | 1 972,70 | 3,30            | 15 %      |
| 1,E   | 1,F | 32,667           | 5,8                | 1 972,70        | 1 966,83 | 5,87            | 18 %      |
| 1,F   | 1,G | 37,276           | 6,6                | 1 966,83        | 1 958,12 | 8,71            | 23 %      |
| 1,G   | 2   | 35,191           | 6,2                | 1 958,12        | 1 950,22 | 7,90            | 22 %      |
| 2     | 3   | 26,435           | 4,7                | 1 950,22        | 1 945,25 | 4,97            | 19 %      |
| 2     | 4   | 134,02           | 23,5               | 1 950,22        | 1 955,57 | 5,35            | -4 %      |
| 4     | 5   | 28,672           | 5,1                | 1 955,57        | 1 954,60 | 0,97            | 3 %       |

| NÚM. VIVIENDAS<br>FUTURAS |           | CAUDAL<br>INSTANTÁNEO | CAUDAL<br>INST. REAL | CAUDAL DE<br>DISEÑO | Diámetro<br>calculado | Diámetro<br>propuesto | Chequeo<br>diámetro |
|---------------------------|-----------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| TRAMO                     | ACUMULADA |                       |                      |                     |                       |                       |                     |
| 0                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,75                  | 2                     | VERDADERO           |
| 2                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,87                  | 2                     | VERDADERO           |
| 0                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,82                  | 2                     | VERDADERO           |
| 2                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,83                  | 2                     | VERDADERO           |
| 0                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,90                  | 2                     | VERDADERO           |
| 0                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,88                  | 2                     | VERDADERO           |
| 0                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,83                  | 2                     | VERDADERO           |
| 4                         | 24        | 0,719                 | 0,212                | 0,719               | 0,84                  | 2                     | VERDADERO           |
| 2                         | 2         | 0,150                 | 0,018                | 0,150               | 0,48                  | 1                     | VERDADERO           |
| 10                        | 14        | 0,541                 | 0,124                | 0,541               | 1,07                  | 1,5                   | VERDADERO           |
| 4                         | 4         | 0,260                 | 0,035                | 0,260               | 0,84                  | 1                     | VERDADERO           |

Continuación apéndice 1.

| Hf diam prop | Cota piez | Velocidad | Chequeo velocidad | presión dinámica m.c.a. | presión estática m.c.a. | Chequeo presión |
|--------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0,01         | 2 003,17  | 0,35      | VERDADERO         | 1,17                    | 1,18                    | VERDADERO       |
| 0,24         | 2 001,76  | 0,35      | VERDADERO         | 13,95                   | 14,19                   | VERDADERO       |
| 0,02         | 1 987,79  | 0,35      | VERDADERO         | 1,39                    | 1,41                    | VERDADERO       |
| 0,14         | 1 986,26  | 0,35      | VERDADERO         | 10,26                   | 10,40                   | VERDADERO       |
| 0,07         | 1 975,93  | 0,35      | VERDADERO         | 3,23                    | 3,30                    | VERDADERO       |
| 0,10         | 1 972,60  | 0,35      | VERDADERO         | 5,77                    | 5,87                    | VERDADERO       |
| 0,12         | 1 966,71  | 0,35      | VERDADERO         | 8,59                    | 8,71                    | VERDADERO       |
| 0,11         | 1 958,01  | 0,35      | VERDADERO         | 7,79                    | 7,90                    | VERDADERO       |
| 0,14         | 1 950,08  | 0,30      | VERDADERO         | 4,83                    | 4,97                    | VERDADERO       |
| 1,03         | 1 949,19  | 0,47      | VERDADERO         | -6,38                   | -5,35                   | VERDADERO       |
| 0,41         | 1 955,16  | 0,51      | VERDADERO         | 0,56                    | 0,97                    | VERDADERO       |

Cálculos de la presa:

Datos

|                            |       |       |      |        |
|----------------------------|-------|-------|------|--------|
| Peso unitario del concreto | 2 400 | kg/m3 | 150  | lb/ft3 |
| Peso del agua              | 1 000 | kg/m3 | 62,4 | lb/ft3 |

|                          |      |   |       |    |
|--------------------------|------|---|-------|----|
| Altura total de la presa | 2,00 | m | 0,610 | ft |
| Base inferior            | 1,20 | m | 0,366 | ft |
| Base superior            | 0,45 | m | 0,137 | ft |
| Altura del agua          | 1,40 | m | 0,427 | ft |
| Ancho del triangulo      | 0,75 | m | 0,229 | ft |
| Longitud de la presa     | 3,80 | m | 1,159 | ft |

|                        |      |    |       |     |
|------------------------|------|----|-------|-----|
| Área del triángulo     | 0,90 | m2 | 0,084 | ft2 |
| Área del rectángulo    | 0,75 | m2 | 0,070 | ft2 |
| Área transversal total | 1,65 | m2 | 0,153 | ft2 |

|                       |       |    |       |     |
|-----------------------|-------|----|-------|-----|
| Altura de vertedero   | 0,10  | m  | 0,030 | ft  |
| Longitud              | 1,20  | m  | 0,366 | ft  |
| Área de vertedero     | 0,12  | m2 | 0,011 | ft2 |
| Volumen del vertedero | 0,054 | m3 | 0,002 | ft3 |
| Volumen de la presa   | 6,216 | m3 | 0,176 | ft3 |

Continuación apéndice 1.

Cálculo de fuerzas

|                  |          |                   |        |                    |
|------------------|----------|-------------------|--------|--------------------|
| Peso de la presa | 1 4918,4 | kg/m <sup>3</sup> | 26,423 | lb/ft <sup>3</sup> |
|------------------|----------|-------------------|--------|--------------------|

|                            |       |      |        |       |                         |
|----------------------------|-------|------|--------|-------|-------------------------|
| Fuerza del agua            | 1 400 | kg/m | 26,634 | lb/ft | franja unitaria: 1m/1ft |
| Peso presa franja unitaria | 3 960 | kg/m | 23,005 | lb/ft |                         |
| Fuerza de sismo (30%)      | 1 188 | kg/m | 6,902  | lb/ft |                         |

|                                       |          |            |
|---------------------------------------|----------|------------|
| Fuerza resistente                     | 3 960,00 | kg         |
| Fuerzas actuantes                     | 2 588,00 | kg         |
| Factor de seguridad por deslizamiento | 1,53     | Si chequea |

Cálculo de momentos

| Ejecutor                               | Fuerza   |       | Brazo |      | Momento  |         | Tipo de momento |
|----------------------------------------|----------|-------|-------|------|----------|---------|-----------------|
|                                        | Kg       | lb    | m     | ft   | kg - m   | lb - ft |                 |
| Fuerza del agua                        | 1 400,00 | 26,63 | 0,47  | 1,53 | 653,33   | 40,77   | Actuante        |
| Fuerza de sismo (30%)                  | 1 188,00 | 6,90  | 0,44  | 1,45 | 523,80   | 9,98    | Actuante        |
| Peso de la presa en la franja unitaria | 3 960,00 | 23,01 | 0,85  | 2,78 | 3 360,00 | 64,02   | Resistente      |

|                                |          |            |
|--------------------------------|----------|------------|
| Momento resistente             | 3 360,00 | kg - m     |
| Momentos actuantes             | 1 177,13 | kg - m     |
| Factor de seguridad por volteo | 2,85     | Si chequea |

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. **Planos constructivos**


- Curvas de nivel
- Planta y perfil de la red de distribución
- Planta y perfil de la línea de conducción
- Planta y perfil de la línea del ariete hidráulico
- Sección del ariete hidráulico
- Detalles del ariete hidráulico
- Continuación de detalles del ariete hidráulico
- Detalles y secciones de la caja de captación
- Planta y secciones del tanque de almacenamiento
- Detalles del tanque de almacenamiento
- Detalles y secciones del tanque de distribución
- Detalles y armado del tanque de distribución
- Conexiones domiciliarias

Fuente: elaboración propia.




# ANEXOS

## Anexo 1. Examen bacteriológico



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

**No. 4276**

| O.T. No. 35 650                     |                                                   | EXAMEN BACTERIOLOGICO                   |                                                                                                            | INF. No. A - 360980 |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| INTERESADO                          | ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA<br>CARNE No. 201213046 | PROYECTO:                               | EPS: INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERÍO EL ASTILLERO ALDEA EL HATO ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPEQUEZ |                     |
| MUESTRA RECOLECTADA POR             | Interesada                                        | DEPENDENCIA:                            | Facultad de Ingeniería/USAC                                                                                |                     |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA: | Astillero El Hato, Antigua Guatemala              | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN:            | 2016-01-25, 12 h10 min.                                                                                    |                     |
| FUENTE:                             | Riachuelo                                         | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: | 2016-01-26, 11 h36 min.                                                                                    |                     |
| MUNICIPIO:                          | Antigua                                           | CONDICIONES DE TRANSPORTE:              | Con refrigeración                                                                                          |                     |
| DEPARTAMENTO:                       | Sacatepequez                                      |                                         |                                                                                                            |                     |
| SABOR:                              | ----                                              | SUSTANCIAS EN SUSPENSIÓN                | Lig cantidad                                                                                               |                     |
| ASPECTO:                            | Clara                                             | COLOR RESIDUAL                          |                                                                                                            |                     |
| OLOR:                               | Inodora                                           |                                         |                                                                                                            |                     |

**INVESTIGACION DE COLIFORMES (GRUPO COLI - AEROGENES)**

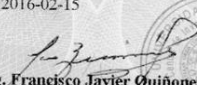
| PRUEBAS NORMALES                                                         | PRUEBA PRESUNTIVA       | PRUEBA CONFIRMATIVA    |               |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
|                                                                          |                         | FORMACION DE GAS       |               |
| CANTIDAD SEMBRADA                                                        | FORMACION DE GAS - 35°C | TOTAL                  | FECAL 44.5 °C |
| 10,00 cm <sup>3</sup>                                                    | +++++                   | +++++                  | ++++          |
| 01,00 cm <sup>3</sup>                                                    | +++++                   | +++++                  | ++++          |
| 00,10 cm <sup>3</sup>                                                    | +++++                   | +++++                  | ++++          |
| RESULTADO: NÚMERO MAS PROBABLE DE GÉRMINES COLIFORMES/100cm <sup>3</sup> |                         | > 16 x 10 <sup>2</sup> | 17            |

**TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - W.E.F. 21<sup>TH</sup> NORMA COGUANOR NGO 4 010. SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES (SI), GUATEMALA.**

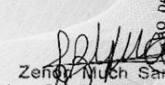
**OBSERVACIONES:** Bacteriológicamente el agua se enmarca en la CLASIFICACIÓN I. Calidad bacteriológica que no exige un simple tratamiento de desinfección. Según normas internacionales de la Organización Mundial de la Salud para Fuentes de Agua de Consumo.

Guatemala, 2016-02-15

Vo.Bo.



**Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz**  
DIRECTOR CIUSAC




**Zeny Nuch Santos**  
Ing. Químico Col. No. 4276  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio


FACULTAD DE INGENIERÍA — USAC —  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería.

## Anexo 2. Examen fisicoquímico



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

O.T. No. 35650

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO SANITARIO

No. **1273**

|                                                                        |  |                                                                                                                                |  |
|------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| INTERESADO: <b>ANA LUCÍA MARTÍNEZ ARRIOLA,<br/>CARNÉ No. 201213046</b> |  | PROYECTO: <b>EPS: "INTRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL CASERIO EL ASTILLERO, ALDEA EL HATO ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPEQUEZ"</b> |  |
| RECOLECTADA POR: <u>Interesada</u>                                     |  | DEPENDENCIA: <u>FACULTAD DE INGENIERIA/USAC</u>                                                                                |  |
| LUGAR DE RECOLECCIÓN: <u>Astillero El Hato, Antigua Guatemala</u>      |  | FECHA Y HORA DE RECOLECCIÓN: <u>2016-01-25, 12 h 10 min.</u>                                                                   |  |
| FUENTE: <u>Riachuelo</u>                                               |  | FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LAB.: <u>2016-01-26, 11 h 36 min.</u>                                                               |  |
| MUNICIPIO: <u>Antigua</u>                                              |  | CONDICIÓN DEL TRANSPORTE: <u>Con refrigeración</u>                                                                             |  |
| DEPARTAMENTO: <u>Sacatepequez</u>                                      |  |                                                                                                                                |  |

**RESULTADOS**

|                                       |                                                       |                                                          |  |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--|
| 1. ASPECTO: <u>Ligeramente turbia</u> | 4. OLOR: <u>Inodora</u>                               | 7. TEMPERATURA: (En el momento de recolección) <u>--</u> |  |
| 2. COLOR: <u>10,00 Unidades</u>       | 5. SABOR: <u>-----</u>                                | 8. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: <u>218,00 umhos/cm</u>       |  |
| 3. TURBIEDAD: <u>05,58 UNT</u>        | 6. potencial de Hidrógeno (pH): <u>06,69 unidades</u> | 9. SÓLIDOS DISUELTOS: <u>115,00 mg/L</u>                 |  |

| SUSTANCIAS                                  | mg/L   | SUSTANCIAS                                   | mg/L   |
|---------------------------------------------|--------|----------------------------------------------|--------|
| 1. AMONIACO (NH <sub>3</sub> )              | 00,13  | 6. CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )               | 10,50  |
| 2. NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) | 00,256 | 7. FLUORUROS (F <sup>-</sup> )               | 00,29  |
| 3. NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) | 09,30  | 8. SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) | 10,00  |
| 4. CLORO RESIDUAL                           | --     | 9. HIERRO TOTAL (Fe)                         | 00,07  |
| 5. MANGANESO (Mn)                           | 00,101 | 10. DUREZA TOTAL                             | 120,00 |

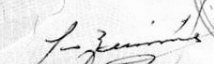
| HIDROXIDOS mg/L | CARBONATOS mg/L | BICARBONATOS mg/L | ALCALINIDAD TOTAL mg/L |
|-----------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| 00,00           | 00,00           | 96,00             | 96,00                  |

OTRAS DETERMINACIONES \_\_\_\_\_


**OBSERVACIONES:** Desde el punto de vista de la calidad física el agua ligeramente turbia (rechazable). Desde el punto de vista de la calidad química el agua cumple con las normas. Según normas internacionales de la Organización Mundial de la Salud para Fuentes de Agua.

**TÉCNICA "STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER" DE LA A.P.H.A. - A.W.W.A.- W.E.F. 21<sup>ST</sup> EDITION 2 005, NORMAS COGUANOR NGO 4 010 (SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES) Y 29001 (AGUA POTABLE Y AGUAS RESIDUALES DERIVADAS), GUATEMALA.**

Guatemala, 2016-02-15



Vo.Bo.  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
DIRECTOR CII/USAC



Zenon Much Santos  
Ing. Químico Col. No. 420  
MSc. en Ingeniería Sanitaria  
Jefe Técnico Laboratorio

---

FACULTAD DE INGENIERIA —USAC—  
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Facultad de Ingeniería.