

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA CIVIL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERA E INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**  
**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y**  
**TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN**  
**SIGCHOS**

**AUTORES:**  
**SAMANTHA GISSEL GAVILEMA CABEZAS**  
**RICARDO DANIEL RAMÍREZ MORALES**

**TUTORA:**  
**MARÍA GABRIELA SORIA PUGO**

**Quito, febrero de 2021**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Samantha Gissel Gavilema Cabezas y Ricardo Daniel Ramírez Morales, con documentos de identificación N° 172382952-7 y N° 172631115-0, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación titulado: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA E INGENIERO CIVIL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, febrero del 2021



.....  
Samantha Gissel Gavilema Cabezas

CI: 172382952-7




.....  
Ricardo Daniel Ramírez Morales

CI: 172631115-0

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DE LA DOCENTE TUTORA**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS realizado por Samantha Gissel Gavilema Cabezas y Ricardo Daniel Ramírez Morales, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2021



.....  
Maria Gabriela Soria Pugo

CI: 180398121-4

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo de llegar aquí tiene dos rostros que en mi vida han sido luz. Gabriel hijo mijo cada larga noche fuiste siempre la mejor razón y mi mejor motivación para continuar para no desfallecer y continuar adelante. El segundo rostro sigue presente con una gran sonrisa en mi mente, fuiste siempre la energía que en ocasiones sentía que me faltaba, abuelito Julio, sé que desde donde estas pusiste tu mano para hacer esto posible. Les dedico a ustedes este trabajo, pues ustedes representan mi pasado y también mi futuro.

Ricardo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado para mis padres y hermanos, por ser mi apoyo en momentos difíciles, por celebrar mis triunfos como si fueran suyos, por todo el amor incondicional que a diario me brindan, por ser mi fuente de inspiración y motivación.

A mi hermano que, con sus ocurrencias y filosofía, alegra mis días y me alienta a seguir adelante.

A mi hermana que siempre está pendiente de su hermanita menor, me guía y me cuida.

También quiero dedicar este trabajo a dos personas que son muy importantes y esenciales en nuestras vidas, los pilares de la familia, Mami Rosi y Cali, sus acciones reflejan todo el amor que nos tienen, siempre están en mis pensamientos.

Samantha Gissel G.

## AGRADECIMIENTO

Llegar aquí no hubiese sido posible sin ustedes mis padres, Jaime y Areli en mis días de fracaso extendieron sus manos para ayudarme, hermanos míos Julio y Paola, su ayuda siempre fue necesaria, sus consejos, y sin duda su fe en mí ha sido lo más lindo de mi vida universitaria. Alexandra, amor mío, junto a ti he construido mi vida, en esos momentos de duda y dificultad nunca te fuiste, este esfuerzo es tan tuyo como mío. Abuelita y Hernán, me dieron un segundo techo, mi vida creció mucho más junto a ustedes y a sus consejos. Jorge mi segundo padre, en silencio siempre dispuesto a ayudarme a darlo todo incluso sin pedirlo. Amigos míos, los de toda mi vida en especial a ustedes Bryan y Vanne y los que llegaron a lo largo de esta carrera universitaria, Sammy a ti, por ser mi amiga y compañera, esta amistad que ahora nos vuelve colegas. A mis profesores, por cada lección impartida y cada consejo dado, en especial a usted Ing. Gaby por aceptar guiarme en este último paso hacia conseguir mi título profesional.

Agradezco a cada uno de ustedes por todo ese esfuerzo, ese apoyo incondicional y la confianza en mí para estar aquí.

Ricardo.

## AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar agradeciendo a Dios por la salud y vida que me regala cada día, por las bendiciones derramadas en mi familia y seres queridos.

A mis padres, Rafael y Lucia por ser parte fundamental de este objetivo realizado, por velar por nuestro bienestar, porque siempre están dispuestos a dar lo mejor, agradezco por sembrar valores y educarnos como personas de bien, por recogerme en su regazo en etapas que pensaba desfallecer, por ser un ejemplo de perseverancia y amor desinteresado. Gracias a ustedes que supieron poner las herramientas necesarias en mi camino,

A mis hermanos, Alex y Andy por respaldar mis decisiones, ser mis amigos y cómplices de ocurrencias. A toda mi familia y amigos por su apoyo incondicional, especialmente a Gisse, Victor y Dario.

A Ricardo, por el compañerismo, esfuerzo y dedicación para culminar con éxito este proyecto.

Agradezco a mi tutora de tesis, Ing. Gaby por los conocimientos y recomendaciones compartidas a lo largo de este trabajo.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a todos los docentes que aportaron con sus conocimientos en mi formación profesional.

Samantha Gissel G.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	1
1.3. Problema.....	2
1.4. Ubicación Geográfica.....	2
1.5. Justificación.....	3
1.6. Objetivos.....	4
1.6.1. Objetivo general .....	4
1.6.2. Objetivos específicos.....	4
1.7. Metodología de la investigación .....	5
1.7.1. Tipo de investigación. ....	5
CAPÍTULO II .....	7
ESTUDIOS PRELIMINARES .....	7
2.1. Clima .....	7
2.2. Vías de comunicación.....	7
2.3. Población y muestra. ....	8
2.3.1. Población actual. ....	8
2.3.2. Muestra.....	8
2.3.3. Recolección de información.....	9
2.4. Características de la población.....	10
2.4.1. Organización comunitaria. ....	10
2.4.2. Participación comunitaria.....	11



2.4.3.	Descripción de la población.....	11
2.4.4.	Estudio Socioeconómico.....	13
2.4.5.	Servicio de agua.....	19
2.4.6.	Disposición de excretas/basuras y situación ambiental.....	20
2.5.	Análisis del sistema actual.....	21
2.5.1	Captación.....	21
2.5.2	Línea de aducción.....	23
2.5.3	Tanque de almacenamiento.....	26
CAPÍTULO III.....		30
BASES DE DISEÑO.....		30
3.1.	Periodo de diseño.....	30
3.2.	Población de Diseño.....	30
3.2.1	Cálculo de la población futura.....	30
3.2.2.	Método geométrico.....	30
3.3.	Dotación y consumo.....	32
3.3.1	Consumo de agua.....	32
3.3.2.	Dotación de diseño.....	34
3.4.	Caudales de diseño.....	35
3.4.1.	Caudal medio.....	35
3.4.2.	Caudal máximo diario.....	37
3.5.	Volumen de regulación.....	37
3.5.1.	Comprobación del volumen de regulación.....	38
3.6.	Estudios de topografía.....	41

3.6.1. Puntos de enlace GPS.....	41
3.6.2. Equipos y Herramientas .....	42
3.6.3. Trabajos de Campo.....	46
3.6.4. Trabajos de Gabinete.....	49
3.7. Calidad del Agua. ....	54
3.7.1. Parámetros a estudiar.....	54
3.7.2 Análisis físico – químico de la fuente .....	56
3.7.3 Análisis físico – químico de la empresa productora y comercializadora vino de mortiño "El Último Inca". ....	57
3.8. Estudios de suelos.....	57
3.8.1. Toma de muestras y transporte.....	58
3.8.2. Clasificación de suelos. ....	60
3.8.3. Peso específico del suelo.....	63
3.8.4. Ensayo triaxial no consolidado-no drenado. ....	64
3.9. Riesgo sísmico .....	71
3.10. Hidrometría .....	73
3.10.1. Método volumétrico. ....	73
CAPÍTULO IV .....	77
ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD .....	77
4.1. Obras de captación .....	77
4.1.1. Captaciones directas. ....	77
4.1.2. Criterios de diseño.....	78
4.1.3. Dimensionamiento hidráulico Opción captación superficial de ladera.....	79

4.1.4. Dimensionamiento hidráulico opción captación de doble cámara con vertedero..	83
4.1.5. Alternativa seleccionada para la captación. ....	89
4.1.6. Diseño estructural.....	90
4.2. Línea de Aducción.....	91
4.2.1. Criterios de diseño.....	92
4.2.2. Diseño de la línea de aducción.....	96
4.2.3. Diseño de estructuras complementarias. ....	108
4.3 Desarenador.....	118
4.4.1. Localización del desarenador. ....	119
4.4.2 Criterios de diseño.....	120
4.4.3 Cálculo de la velocidad de sedimentación. ....	124
4.4.4. Cálculo del número de Reynolds en la zona de Stokes.....	125
4.4.5 Cálculo del tiempo de sedimentación.....	125
4.4.6 Cálculo del tiempo de retención hidráulico en el desarenador.....	126
4.4.7 Cálculo del volumen del desarenador. ....	127
4.4.8 Cálculo del área superficial del desarenador.....	127
4.4.9 Dimensionamiento del desarenador. ....	128
4.4.10 Cálculo de la carga hidráulica superficial del desarenador. ....	128
4.4.11 Cálculo del diámetro teórico de las partículas a remover. ....	129
4.4.12 Cálculo de la velocidad horizontal en el desarenador. ....	130
4.4.13 Cálculo de la velocidad de arrastre y velocidad máxima horizontal en el desarenador.....	130

4.4.14 Cálculo de los elementos del desarenador.....	132
4.4.15 Tubería de lavado/desagüe .....	143
4.4.16 Cálculo del tiempo de desagüe del desarenador.....	145
4.4.17 Alternativa seleccionada para la ubicación y componentes del desarenador. ....	147
4.4.18. Diseño estructural.....	151
4.5 Tanque de Almacenamiento .....	158
4.5.1. Localización del tanque.....	158
4.5.2. Tipo de tanque.....	159
4.5.3. Dimensionamiento hidráulico del tanque de 126 m <sup>3</sup> .....	159
4.5.4. Alternativa seleccionada para la ubicación y componentes del tanque de almacenamiento.....	165
4.5.5. Diseño Estructural.....	167
4.6. Tratamiento de agua cruda.....	173
4.6.1. Desinfección por cloro. ....	174
CAPÍTULO V .....	178
ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA PROPUESTA .....	178
5.1. Presupuesto .....	178
5.1.1. Costos directos. ....	179
5.1.2. Costos indirectos. ....	179
5.1.3. Análisis de Precios Unitarios. ....	179
5.1.4. Volúmenes de obra.....	180
5.1.5. Costos de operación y mantenimiento. ....	180
5.2. Evaluación financiera.....	181

5.2.1. Ingresos por la dotación del servicio.....	181
5.2.2. Ingresos por los beneficios a la población.....	182
5.2.3. Flujo de caja. ....	184
5.2.4. Indicadores económicos. ....	187
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>188</b>
<b>IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>188</b>
6.1. Generalidades .....	188
6.2. Descripción de las actividades del proyecto.....	188
6.2.1. Etapa de construcción.....	188
6.2.2. Etapa de operación y mantenimiento. ....	190
6.3. Diagnóstico ambiental – línea base .....	191
6.3.1. Criterios metodológicos. ....	191
6.3.2. Medio Físico.....	192
6.3.3. Medio Biótico.....	194
6.4. Identificación y evaluación de impactos ambientales .....	194
6.4.1. Etapa de construcción.....	194
6.4.2 Etapa de Operación y Mantenimiento .....	195
6.4.3. Metodología. ....	196
6.4.3.1. Clasificación de las actividades.....	196
6.5. Plan de manejo ambiental (PMA) .....	199
6.5.1. Plan de Prevención y mitigación de impactos.....	199
6.5.2. Plan de Contingencias. ....	202
6.5.3. Plan de seguridad y salud en el trabajo. ....	203

6.5.4. Plan de manejo de desechos.....	204
6.5.5. Plan de relaciones comunitarias.....	205
6.5.6. Plan de monitoreo.....	206
6.5.7. Plan de rehabilitación de áreas afectadas.....	207
6.5.8. Plan de cierre, abandono y entrega del área.....	208
CONCLUSIONES .....	210
RECOMENDACIONES .....	213
REFERENCIAS .....	215
ANEXOS.....	221

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	7
Tabla 2.....	11
Tabla 3.....	17
Tabla 4.....	19
Tabla 5.....	20
Tabla 6.....	21
Tabla 7.....	31
Tabla 8.....	32
Tabla 9.....	33
Tabla 10.....	34
Tabla 11.....	34
Tabla 12.....	35
Tabla 13.....	36
Tabla 14.....	36
Tabla 15.....	42
Tabla 16.....	47
Tabla 17.....	50
Tabla 18.....	51
Tabla 19.....	52
Tabla 20.....	52
Tabla 21.....	54
Tabla 22.....	55
Tabla 23.....	55
Tabla 24.....	56

Tabla 25.....	57
Tabla 26.....	58
Tabla 27.....	59
Tabla 28.....	61
Tabla 29.....	61
Tabla 30.....	62
Tabla 31.....	63
Tabla 32.....	63
Tabla 33.....	64
Tabla 34.....	68
Tabla 35.....	73
Tabla 36.....	75
Tabla 37.....	76
Tabla 38.....	82
Tabla 39.....	84
Tabla 40.....	84
Tabla 41.....	88
Tabla 42.....	89
Tabla 43.....	94
Tabla 44.....	95
Tabla 45.....	97
Tabla 46.....	99
Tabla 47.....	99
Tabla 48.....	101
Tabla 49.....	102



Tabla 50.....	103
Tabla 51.....	105
Tabla 52.....	106
Tabla 53.....	109
Tabla 54.....	112
Tabla 55.....	112
Tabla 56.....	113
Tabla 57.....	115
Tabla 58.....	116
Tabla 59.....	118
Tabla 60.....	119
Tabla 61.....	121
Tabla 62.....	122
Tabla 63.....	126
Tabla 64.....	127
Tabla 65.....	132
Tabla 66.....	135
Tabla 67.....	136
Tabla 68.....	138
Tabla 69.....	140
Tabla 70.....	142
Tabla 71.....	143
Tabla 72.....	144
Tabla 73.....	145
Tabla 74.....	145

Tabla 75.....	147
Tabla 76.....	151
Tabla 77.....	159
Tabla 78.....	160
Tabla 79.....	161
Tabla 80.....	163
Tabla 81.....	163
Tabla 82.....	164
Tabla 83.....	164
Tabla 84.....	165
Tabla 85.....	167
Tabla 86.....	174
Tabla 87.....	177
Tabla 88.....	179
Tabla 89.....	181
Tabla 90.....	182
Tabla 91.....	183
Tabla 92.....	184
Tabla 93.....	185
Tabla 94.....	187
Tabla 95.....	189
Tabla 96.....	190
Tabla 97.....	196
Tabla 98.....	197
Tabla 99.....	197

Tabla 100.....	198
Tabla 101.....	199
Tabla 102.....	202
Tabla 103.....	203
Tabla 104.....	204
Tabla 105.....	205
Tabla 106.....	206
Tabla 107.....	207
Tabla 108.....	208

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 .....	3
Figura 2 .....	12
Figura 3 .....	12
Figura 4 .....	13
Figura 5 .....	14
Figura 6 .....	14
Figura 7 .....	15
Figura 8 .....	15
Figura 9 .....	16
Figura 10 .....	17
Figura 11 .....	18
Figura 12 .....	19
Figura 13 .....	22
Figura 14 .....	23
Figura 15 .....	23
Figura 16 .....	25
Figura 17 .....	25
Figura 18 .....	26
Figura 19 .....	26
Figura 20 .....	27
Figura 21 .....	27
Figura 22 .....	28
Figura 23 .....	29
Figura 24 .....	39

Figura 25 .....	40
Figura 26 .....	40
Figura 27 .....	41
Figura 28 .....	43
Figura 29 .....	44
Figura 30 .....	44
Figura 31 .....	45
Figura 32 .....	46
Figura 33 .....	48
Figura 34 .....	49
Figura 35 .....	53
Figura 36 .....	53
Figura 37 .....	59
Figura 38 .....	60
Figura 39 .....	62
Figura 40 .....	72
Figura 41 .....	74
Figura 42. ....	76
Figura 43. ....	77
Figura 44 .....	82
Figura 45 .....	87
Figura 46 .....	88
Figura 47. ....	90
Figura 48 .....	91
Figura 49 .....	93

Figura 50 .....	94
Figura 51 .....	97
Figura 52 .....	102
Figura 53 .....	109
Figura 54 .....	113
Figura 55 .....	114
Figura 56 .....	116
Figura 57 .....	117
Figura 58 .....	117
Figura 59 .....	118
Figura 60 .....	120
Figura 61 .....	123
Figura 62 .....	134
Figura 63 .....	138
Figura 64 .....	142
Figura 65 .....	146
Figura 66 .....	148
Figura 67 .....	149
Figura 68 .....	150
Figura 69 .....	152
Figura 70 .....	153
Figura 71 .....	153
Figura 72 .....	154
Figura 73 .....	155
Figura 74 .....	156

Figura 75 .....	157
Figura 76 .....	157
Figura 77 .....	158
Figura 78 .....	159
Figura 79 .....	166
Figura 80 .....	166
Figura 81 .....	168
Figura 82 .....	169
Figura 83 .....	169
Figura 84 .....	170
Figura 85 .....	171
Figura 86 .....	172
Figura 87 .....	172
Figura 88 .....	173
Figura 89 .....	183

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A .....	221
Anexo B.....	223
Anexo C.....	229
Anexo D .....	234
Anexo E.....	237
Anexo F.....	238
Anexo G .....	243
Anexo H .....	247
Anexo I.....	257
Anexo J.....	258
Anexo K .....	264
Anexo L.....	275
Anexo M.....	281
Anexo N .....	294
Anexo O .....	337
Anexo P.....	376
Anexo Q .....	378
Anexo R.....	379
Anexo S.....	381



## RESUMEN

El proyecto técnico pretende realizar el estudio de prefactibilidad para el sistema de conducción y tratamiento de agua cruda que permitan cubrir la demanda de agua potable de la comuna Quinticusig, parroquia Sigchos, cantón Sigchos en cualquier época del año durante 24 horas diarias.

La comuna levantó un sistema para transportar agua cruda hace 35 años aproximadamente, no contó con asistencia técnica; la población sufre del desabastecimiento de agua por periodos superiores a los 30 días, en época de verano, mientras que en época de invierno se presenta el desperdicio del recurso hídrico.

Se utilizó la investigación científica, la cual utiliza herramientas teóricas y prácticas permitiendo visualizar mejor el entorno e identificar los problemas presentes con el fin de determinar una solución.

El sistema de conducción propuesto cuenta con: captación, línea de aducción, desarenador horizontal semienterrado y tanque de almacenamiento enterrado hasta la corona de los muros, las estructuras complementarias del sistema son: un cruce aéreo y cinco cámaras rompe presión. El tratamiento empleado en el agua tiene una fase física que se da a través de la unidad desarenadora, una fase química que consiste en la desinfección por cloro, realizada en el tanque de almacenamiento.

El análisis técnico-económico contiene el presupuesto detallado y los indicadores económicos (VAN, TIR, B/C), los resultados obtenidos revelan que el proyecto es viable. Finalmente, en el estudio del impacto ambiental se concluyó que el proyecto no tiene efectos negativos significativos durante las fases de ejecución, operación y mantenimiento.

**Palabras claves:** sistema de conducción, tratamiento de agua, estructuras hidráulicas, diseño hidráulico.

## ABSTRACT

The technical project intends to carry out a pre-feasibility study for the raw water supply and treatment system to meet the demand for drinking water in the Quinticusig commune, Sigchos parish, Sigchos canton at any time of the year for 24 hours a day.

The commune built a system to transport raw water approximately 35 years ago, it did not have technical assistance; the population suffers from a shortage of water for periods of more than 30 days, in summer, while in winter there is a waste of water resources.

Scientific research was used, which uses theoretical and practical tools allowing a better visualization of the environment and identifying the current problems in order to determine a solution.

The proposed conduction system has: catchment, adduction line, semi-buried horizontal sand trap and buried storage tank up to the crown of the walls, the complementary structures of the system are: an overhead crossing and five pressure break chambers. The treatment used in the water has a physical phase that takes place through the sandblasting unit, a chemical phase that consists of chlorine disinfection, carried out in the storage tank.

The technical-economic analysis contains the detailed budget and the economic indicators (NPV, IRR, B / C), the results obtained reveal that the project is viable. Finally, in the environmental impact study it was concluded that the project does not have significant negative effects during the execution, operation and maintenance phases.

**Keywords:** conduction system, water treatment, hydraulic structures, hydraulic design.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

### 1.1. Introducción

En el Ecuador es muy común encontrar poblaciones rurales que no tienen acceso al agua potable, por diferentes factores como: económico, social, político y ambiental. Esto evita el desarrollo sostenible en estas localidades; como es el caso de la comuna Quinticusig, que, a pesar de tener fuentes cercanas de agua dulce, no cuenta con un sistema adecuado que garantice la calidad de agua apta para el consumo humano.

La información base del proyecto se obtuvo mediante estudios de campo como: levantamiento topográfico, estudios geotécnicos e hidrometría y una encuesta realizada a una muestra de la población y el aporte de la comuna con los estudios de calidad del agua.

Se realizó un análisis de alternativas para el pre diseño hidráulico de los elementos del sistema conducción, donde se utilizó como referencia principal la normativa nacional y como secundaria la normativa internacional. Con la norma NEC y ACI se analizó las estructuras hidráulicas para verificar su comportamiento para diferentes estados de cargas.

### 1.2. Antecedentes

La comuna cuenta con un sistema para el transporte de agua cruda que se abastece de 2 diferentes afloramientos denominados “Dos Piedras” y “Yacubiana”, hasta un tanque de almacenamiento rectangular ubicado en la parte baja de ladera en el límite de los terrenos comunales; el sistema construido hace más de 35 años cuenta con una captación pequeña de hormigón, un primer tanque rompe presión donde se da la confluencia del caudal proveniente de “Yacubiana”; un segundo tanque rompe presión, que a su vez cuenta con una válvula de desagüe a la atmosfera, ubicado en la parte final de la línea de aducción.

La comuna Quinticusig en la necesidad de obtener un sistema de conducción que reemplace al existente, realiza un acercamiento con la Universidad Politécnica Salesiana a través de la Dirección Técnica de Vinculación con la Sociedad para viabilizar un estudio de prefactibilidad que cumpla con los requerimientos técnicos necesarios.

El 20 febrero del año 2020, se reunieron las partes involucradas para realizar una visita técnica, donde se viabilizó la firma del proyecto de vinculación con el tema “ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS”; el cual considera el trayecto del agua desde el afloramiento en “Dos Piedras” hasta el tanque de almacenamiento.

### **1.3. Problema**

La comuna levantó un sistema para transportar agua cruda hace 35 años aproximadamente, la construcción del sistema no contó con asistencia técnica, por tal motivo desde su implementación se vienen presentado diversos problemas.

La población sufre del desabastecimiento de agua por periodos superiores a los 30 días, en época de verano, mientras que en época de invierno se presenta el desperdicio del recurso hídrico. Adicional a esto se evidenció que la comuna recibe el agua con presencia de partículas y solidos suspendidos.

### **1.4. Ubicación Geográfica**

La comuna Quinticusig pertenece al cantón Sigchos, provincia de Cotopaxi, se encuentra ubicada al oeste de la cabecera cantonal en las siguientes coordenadas UTM -WGS 84 SIRGAS: 737459.1E, 9920918.156 S “17M”;

Quinticusig se ubica en la cordillera de los andes, en la región sierra del Ecuador, con una altura promedio de 2827 m.s.n.m.

## Figura 1

*Comuna Quinticusig.*



Elaborado por: Los autores a través de la herramienta Google Earth.

De acuerdo al trabajo de (Cuchiparte Umajinga, 2017) en su (Inventario de recursos turísticos de la comunidad Quinticusig, provincia de Cotopaxi, pág. 21) la extensión territorial de la comuna son 9.8 km<sup>2</sup>; establecida por los siguientes límites:

Norte: Las Minas con el arroyo Chacson (Ashpa Cruz);

Sur: Unavana Tanchi y Culaguago;

Este: Tushpa Rumi;

Oeste: Río Toachi.

### 1.5. Justificación

Se pretende optimizar las condiciones del sistema de agua potable con la realización de estudios técnicos y económicos en beneficio de la comunidad de Quinticusig la cual cuenta con 103 familias receptoras del servicio de agua para uso doméstico, además de aportar al desarrollo

de dos empresas comunitarias: "Perla Andina" y "Vino de Mortiño Último Inca", dedicadas a la producción de vino a base de Mortiño, especie natural de la zona.

Con el estudio de prefactibilidad y el presupuesto referencial entregado, se espera que a futuro la comuna pueda ejecutar las obras hidráulicas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Realizar el estudio de prefactibilidad para el sistema de conducción y tratamiento de agua cruda que permitan cubrir la demanda de agua potable de la comuna Quinticusig, parroquia Sigchos, cantón Sigchos en cualquier época del año durante 24 horas diarias.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

Recolectar la información base necesaria como topografía, dotación, población, calidad del agua y estudio de suelos, para el proyecto.

Pre diseñar la alternativa más favorable de los componentes del sistema de agua potable (captación, desarenador, conducción y tanque de almacenamiento, tratamiento de agua), en base a un análisis técnico económico, que cumplan con los requerimientos y demanda de la población futura.

Definir un presupuesto referencial de obra en base al análisis técnico económico de la alternativa escogida.

## **1.7. Metodología de la investigación**

### **1.7.1. Tipo de investigación.**

La investigación científica utilizada en el proyecto se describe como un tipo de investigación que utiliza herramientas teóricas y prácticas permitiendo visualizar mejor el entorno e identificar los problemas presentes con el fin de determinar una solución (Behar, 2008, pág. 16).

El proyecto de estudio realizado por los autores emplea diferentes tipos de información científica, los cuales se abordan a continuación:

De acuerdo con el tipo de información científica por la información disponible, se utiliza:

Investigación aproximativa o exploratoria, ya que no se cuenta con estudios previos suficientes, relacionados al presente proyecto, los resultados aportados por esta investigación pueden utilizarse para futuros proyectos.

Investigación descriptiva, permite identificar aspectos sociales y culturales dentro de la comuna.

Investigación explicativa, proporciona información de diversos factores o causas que se ven involucrados en el problema de investigación.

De acuerdo con el tipo de información científica por el conocimiento obtenido, se utilizó:

Investigación práctica o aplicada, emplea conocimientos y teoría para aplicarlos a la resolución de problemas dentro de una realidad específica de la comuna.

De acuerdo con el tipo de información científica por sus cualidades o herramientas, se utiliza:

Investigación cuantitativa, caracterizada por entregar resultados numéricos que se interpretan como datos estadísticos, utilizados para el pre diseño de los elementos del proyecto.

Investigación cualitativa, utiliza información subjetiva y proporciona gran exactitud en sus resultados conceptuales, referente a las características de la población.

De acuerdo al tipo de información científica por las fuentes de información, se utiliza:

Investigación documental, en su inicio se identifica y se realiza recolección de información obtenida diversas fuentes como libros, informes técnicos, información estadística, información multimedia, oficios, reglamentos, etc., después se organiza y analiza esta información, con el fin de evidenciar el conocimiento técnico empleado en los pre diseños de los componentes del sistema de conducción.

Investigación de campo, este tipo de investigación recoge información en la zona mediante: encuestas realizadas a los pobladores, toma de muestras para estudios preliminares, estudio topográfico e hidrométrico. (Muñoz, 2015)



## CAPÍTULO II

### ESTUDIOS PRELIMINARES

#### 2.1. Clima

El clima en el cantón Sigchos está definido por 3 tipos: Tropical Megatérmico Húmedo, Ecuatorial Mesotérmico Seco y Ecuatorial de Alta Montaña.

De acuerdo a el (Actualización Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial Sigchos 2015-2065, 2015), las temperaturas medias anuales en el cantón varían entre 4 y 20°C, la temperatura mínima puede llegar a los 0°C y la temperatura máxima alcanza los 22°C.

**Tabla 1**

*Cuadro de temperaturas cantón Sigchos.*

Temperaturas	MESES											
	jul - 10	ago - 10	sep - 10	nov - 10	dic - 10	ene - 11	feb - 11	mar - 11	abr - 11	may - 11	jun - 11	
Temperatura máxima mensual (°C)	21.9	21.3	22.3	26.1	23.6	26.1	23.9	26.3	21.9	22.9	21.9	
Temperatura mínima mensual (°C)	0.9	0	0.2	1.9	4.9	5.1	4.4	2.9	4.9	2.4	5.4	
Temperatura media mensual (°C)	13.2	12.6	13	14.1	13.6	13.7	13.9	14	14.3	14.7	14.3	
Precipitación total mensual (°C)	0	1.2	34.5	38.8	29.2	62.4	85.3	46.6	111.5	13.7	32.7	
Media de vel. Del viento mensual (km/h)	10.95	13.56	13.29	13.05	10.87	11.94	10.5	10.69	8.44	17.37	21.01	
Ráfagas máximas de viento mensual (km/h)	53.52	57.23	55.37	55.37	44.26	55.37	55.37	48.15	50	53.52	51.86	

Fuente: (GAD-SIGCHOS, 2012, pág. 14)

#### 2.2. Vías de comunicación

La comuna se ubica a 30 minutos desde el centro del cantón Sigchos, el camino tiene una distancia de 9.8 km; su única vía de acceso principalmente es de lastre, cuenta con un cruce sobre el río Toachi el cual es un puente losa de hormigón armado. El camino es de difícil acceso para vehículos livianos por lo que la principal forma de transporte de ingreso y salida de la comuna son las camionetas.

## **2.3. Población y muestra.**

### **2.3.1. Población actual.**

La población actual está identificada en la “lista de usuarios y sus cargas familiares de agua entubada de la comunidad Quinticusig del cantón Sigchos, provincia Cotopaxi, año 2019”. Esta lista se desglosa en: 103 familias, una escuela rural, cementerio, casa comunal, asociación de mujeres y dos empresas comunitarias de vino. Los datos registrados se pueden observar en el Anexo I.

De las 103 familias mencionadas, se determinó un total de 542 habitantes beneficiarios del sistema de agua cruda.

### **2.3.2. Muestra.**

Debido a la población flotante existente en la comuna, es necesario tomar una cantidad de la población para la aplicación de la encuesta, la misma que más adelante será utilizada para caracterizar a la población.

El tamaño de la muestra para poblaciones finitas se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{i^2 * (N - 1) + (Z^2 * p + q)}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra.

N: tamaño del universo.

Z: nivel de Confianza correspondiente a la distribución de Gauss.

p: porcentaje de la población con el atributo deseado.

q: porcentaje de la población sin el atributo deseado (1 – p)

i: error que se prevé cometer

Nota: Si no se conoce el porcentaje de la población con el atributo deseado se asume p = 50 % y q = 50 %

(Mantilla, 2015, pág. 131)

Se conoce que el tamaño del universo son 103 familias, por otro lado, se asumirá un error del 5 % y un nivel de confianza del 95 %; para determinar los valores de p y q, se emplearan valores tomados del (Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos), donde indica que para comunas y comunidades la población flotante es del 10 %. (GAD-SIGCHOS, 2012, pág. 151)

$$n = \frac{103 * 1.96^2 * 0.96 * 0.04}{0.05^2 * (103 - 1) + (1.96^2 * 0.96 * 0.04)}$$

$$n = 38,00 \approx 38 \text{ familias}$$

El tamaño de la muestra para aplicar la encuesta será de 38 familias de la comuna.

### **2.3.3. Recolección de información.**

Para la recolección de la información se empleó una encuesta, utilizando como herramienta el cuestionario, esta fue aplicada a el representante de cada familia. La encuesta nos permitió obtener información sobre:

- La organización y participación comunitaria.
- La descripción de la población.
- El nivel socioeconómico.
- El Servicio de agua.

- La disposición de excretas, basura y situación ambiental.

En análisis de esta información, permite

La información recolectada permitió identificar a la población y conocer la calidad de vida que llevan los comuneros y con ello proponer diseños de las obras hidráulicas (captación, línea de aducción, desarenador, tanque de almacenamiento y obras complementarias) que se ajusten a la demanda de los usuarios.

A partir de esta información se determinó el impacto económico positivo en la población, al contar con un sistema de conducción y tratamiento adecuado para el agua podrá disminuir los gastos destinados a salud.

El formato del cuestionario y las encuestas realizadas se encuentran en el Anexo A.

A continuación, se presentan los temas abordados en las encuestas y los resultados obtenidos.

## **2.4. Características de la población**

### **2.4.1. Organización comunitaria.**

La comuna Quinticusig nace como organización jurídica sin fines de lucro el 16 de enero de 1946, domiciliada en la parroquia Sigchos, cantón Sigchos, conformado por habitantes radicados en el lugar. En el área que nos compete el fin de la organización es conseguir asistencia técnica mediante convenios de cooperación con instituciones públicas y privadas para la realización de planes, programas y proyectos de desarrollo socio económico.

La comuna es administrada mediante: asamblea general, cabildo y comisiones especiales, siendo la asamblea general la máxima autoridad en la comuna, la cual está integrada por todos los comuneros que consten en el registro comunal aprobado en el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

La comisión del agua para el consumo doméstico y regadío es el encargado de velar por el buen funcionamiento del sistema de agua de uso doméstico, es la encargada de coordinar los trabajos que se realicen dentro del territorio de la comuna de conformidad al Acuerdo No. 2017-0031 del 22 de agosto del 2017, emitido por la Secretaría del Agua. (MAGAP, 2019).

#### **2.4.2. Participación comunitaria.**

De lo datos recogidos de las encuestas, se evidenció que la mayoría de la población participó de alguna forma en la: preparación y ejecución, discusión sobre los niveles de servicio, decisión sobre los costos del servicio del sistema actual.

**Tabla 2**

*Participación de la comunidad.*

<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Total</b>
Participó en la preparación y ejecución del sistema actual	Si	32
	No	6
Participó en la discusión sobre los niveles de servicio	Si	34
	No	4
Participó en la decisión sobre los costos del servicio	Si	35
	No	3
Contribuyó para la ejecución del sistema de agua en efectivo	Si	26
	No	12
Contribuyó para la ejecución del sistema de agua con mano de obra	Si	36
	No	2

Elaborado por: Los autores.

#### **2.4.3. Descripción de la población.**

##### **2.4.3.1. Sexo de la población.**

En base a los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a 38 familias, el 53 % de la muestra son hombres y un 47 % son mujeres.

**Figura 2**

*Sexo de la población.*



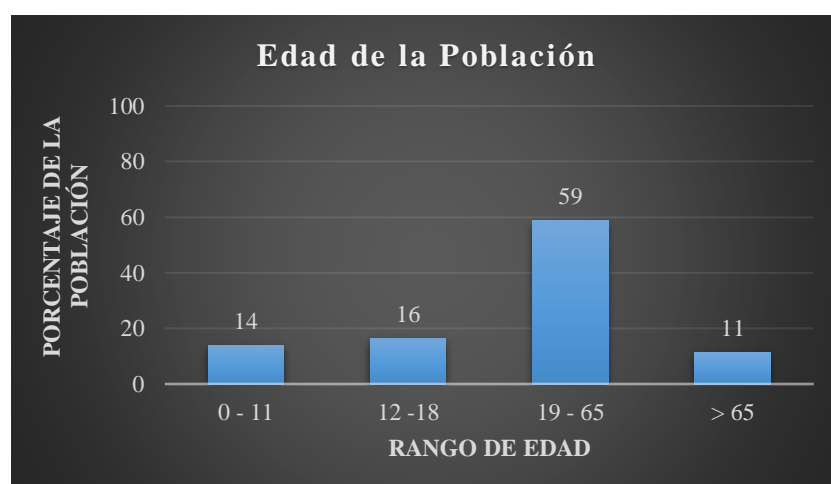
Elaborado por: Los autores.

#### **2.4.3.2. Edad.**

El 59 % de la población en la comuna de Quinticusig se encuentra en el rango de 19 a 65 años de edad, caracterizada como población económicamente activa; los adultos mayores con una edad superior a los 65 años ocupan el 11 % de la población, los niños y adolescentes ocupan el 14 % y 16 % respectivamente.

**Figura 3**

*Edad de la población de Quinticusig.*



Elaborado por: Los autores.

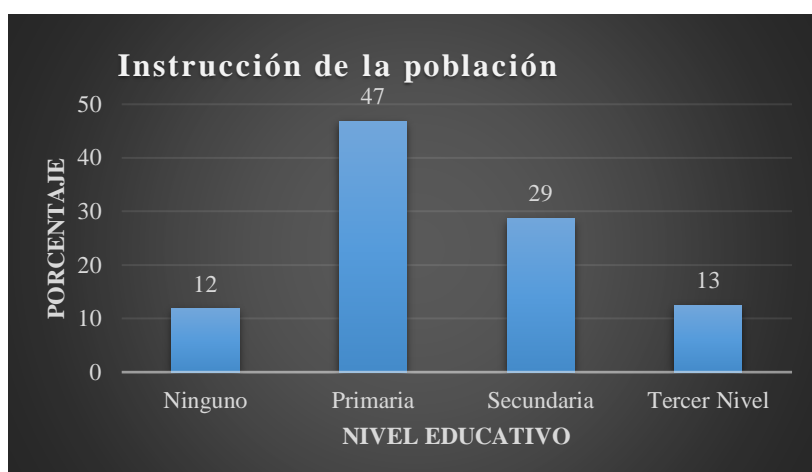
## 2.4.4. Estudio Socioeconómico.

### 2.4.4.1. Educación.

El 47 % de la población cursó la educación primaria, el 29 % recibió educación secundaria y tan solo un 13 % ha continuado sus estudios de tercer nivel o educación superior, en tanto que un 12 % no ha recibido educación formal alguna, constituyen la población analfabeta en la comuna.

#### Figura 4

*Nivel educativo de la población.*



Elaborado por: Los autores.

### 2.4.4.2. Ingresos anuales.

El 37 % de los hogares genera ingresos anuales superiores a los 4.000 \$; el 34 % de los hogares registra ingresos entre (1001 y 4000) \$ y el 29 % de los hogares tiene ingresos inferiores a los 1.000 \$ anuales; se consideró para el estudio el ingreso de todos los miembros del hogar, así como otros ingresos provenientes de arriendos, bonos del estado, etc.

**Figura 5**

*Ingresos totales al año de la familia.*



Elaborado por: Los autores.

Dentro de los ingresos anuales el 37 % de los hogares recibe subsidios por parte del estado, esta es su única fuente fija de ingresos.

**Figura 6**

*Hogares que reciben subsidios por parte del estado.*



Elaborado por: Los autores.

#### ***2.4.4.3. Actividades económicas.***

El 41 % de la población encuestada en Quinticusig indicó que realiza actividades económicas, mientras que el 59 % no realiza ninguna actividad económica actual.



### Figura 7

Porcentajes de la población con o sin actividad económica.

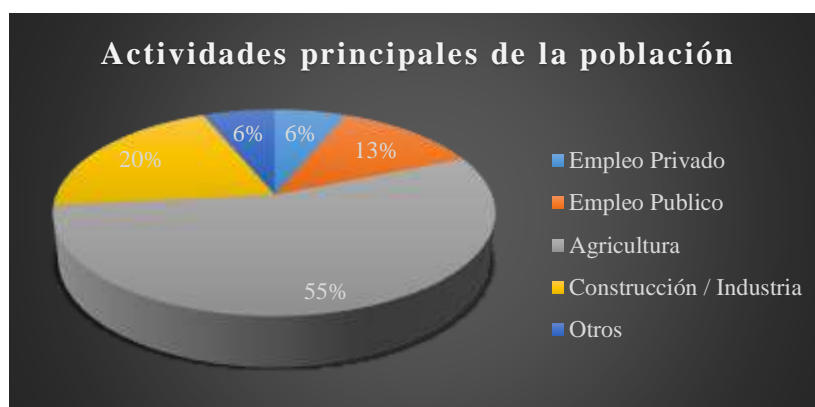


Elaborado por: Los autores.

Dentro de las actividades económicas principales, la actividad agrícola prevalece con un 55 %, le sigue el sector de la construcción / industria con un 20 %, el 13 % trabaja en el sector público, el 6 % son empleados en el sector privado y otro 6 % realiza actividades económicas independientes tales como: belleza, transporte, corte y confección, etc.

### Figura 8

Actividades económicas principales dentro de la comuna Quinticusig.



Elaborado por: Los autores.

#### 2.4.4.4. Salud.

Este apartado comprende dos segmentos de la población. La primera parte va dirigida a los hogares con niños en la comuna y la segunda parte comprende a toda la población encuestada.

De la información obtenida, en el 39% de hogares hay uno o más infantes, y el 61 % de hogares no tiene infantes dentro de su familia.

#### Figura 9

*Hogares con y sin niños dentro de la comuna Quinticusig.*



Elaborado por: Los autores.

En la tabla 3 se resumen las principales enfermedades que afectan a los infantes y el sitio al que acudieron por atención médica.

La diarrea es el principal problema de salud con 9 casos registrados y las enfermedades respiratorias con 5 casos; se indica que en 7 de los casos la familia prefirió acudir a un centro de salud y en 2 casos la familia no se presentó en ningún sitio por atención médica.

**Tabla 3**

*Salud en los hogares con niños de la comuna Quinticusig*

Datos estudiados	Casos	Porcentaje
Principales enfermedades que afectan a los niños/as		
Diarrea	9	53
Parasitosis	1	6
Respiratorias	5	29
Infecciosas	1	6
Otras	1	6
Tipo de atención recibida		
Hospital	0	0
Centro de Salud	7	47
Sub - centro	4	27
Otro	2	13
Ninguno	2	13

Elaborado por: Los autores.

De la figura 10, se evidenció que 37% de la población encuestada ha presentado en el último mes una enfermedad estomacal o intestinal de colitis, parásitos, etc.

**Figura 10**

*Familias que en el último mes han tenido una enfermedad estomacal o intestinal.*



Elaborado por: Los autores.

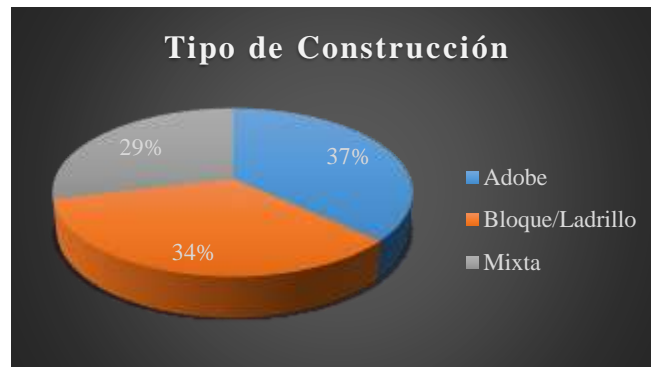
Debido al consumo de agua cruda la población se vuelve susceptible a este tipo de enfermedades.

#### 2.4.4.5. Vivienda.

El 37 % de las viviendas son de adobe, el 34 % son de bloque o ladrillo y el 29% son viviendas construidas con material mixto.

#### Figura 11

*Tipo de construcción de las viviendas en la comuna Quinticusig.*



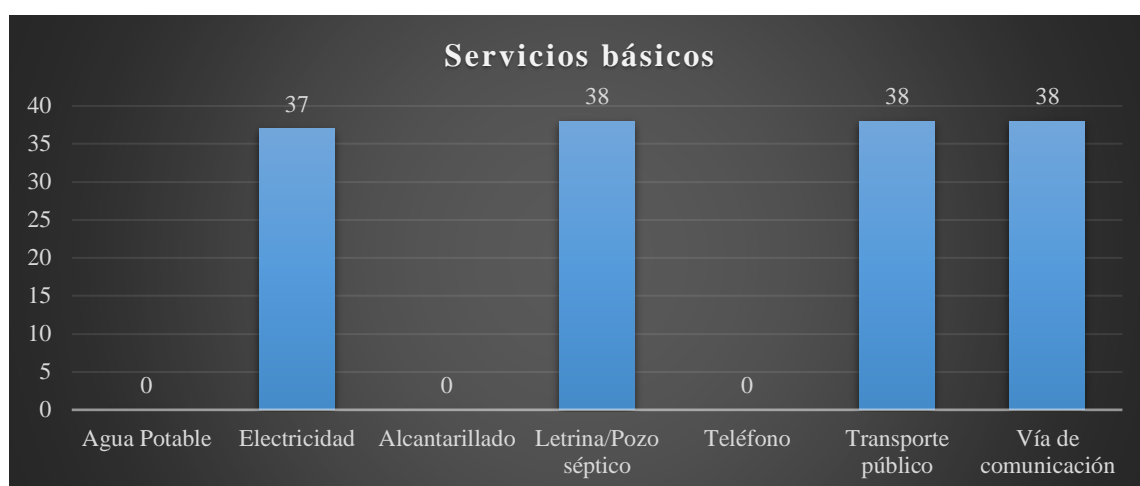
Elaborado por: Los autores.

Los 38 hogares encuestados poseen con tres servicios básicos: letrina/pozo séptico, transporte público y vía de comunicación, mientras que 37 de los 38 hogares cuenta con electricidad.

El total de hogares encuestados no cuenta con servicio de agua potable, alcantarillado y telefonía fija.

**Figura 12**

*Servicios básicos.*



Elaborado por: Los autores.

#### **2.4.5. Servicio de agua.**

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en cuanto a satisfacción del servicio y calidad que ofrece el sistema actual, así como el tipo de consumo de agua que realizan los hogares.

**Tabla 4**

*Servicio de agua.*

Descripción	Variable	Total
Satisfacción con el servicio	Si	28
	No	10
La calidad del agua es buena	Si	22
	No	16
Servicio de agua es continuo	Si	13
	No	25
Compra de agua embotellada para beber	Si	10
	No	28
Acarrea agua	Si	10
	No	28

Elaborado por: Los autores.

En su mayoría las familias encuestadas sienten satisfacción con el servicio de agua, también consideran que la calidad del agua es buena, sin embargo, predomina el número de familias que no tiene un servicio continuo de agua, por tal razón parte de estas familias acarrear agua o compran agua.

#### 2.4.6. Disposición de excretas/basuras y situación ambiental

La comuna no cuenta con una red de alcantarillado, la disposición de excretas va destinada a fosas sépticas elaboradas en cada una de las viviendas, además hacen uso de letrina; no cuentan con un servicio de recolección de los desechos sólidos, por tal razón se ven obligados a quemar, enterrar o reciclar los residuos generados.

**Tabla 5**

*Disposición de excretas y basuras.*

Descripción	Variable	Total
Disposición de excretas	Red	0
	Fosa séptica	38
Uso de letrina	Si	38
	No	0
Servicio de recolección de los desechos solidos	Si	0
	No	38
Disposición de la basura	Quema	35
	Entierra	2
	Recicla y quema	1

Elaborado por: Los autores.

El total de encuestados manifestó que mantiene terrenos cultivables, de los cuales 25 utilizan químicos para sus cultivos, generalmente la disposición de estos desechos se quema. En 29 hogares encuestados, los terrenos cultivables se encuentran a distancias menores de los 10 m del cuerpo de agua, en 3 casos los terrenos se encuentran a distancias superiores a los 30 m del cuerpo de agua.

En 30 hogares se almacena agua, lo más habitual es que lo realicen en un tanque sin tapa, ubicado fuera de la vivienda.

**Tabla 6***Situación ambiental.*

<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Total</b>
Uso de químicos para los cultivos	Si	25
	No	13
	0 -10	29
Distancia de los cultivos al cuerpo de agua (m)	11 - 20	5
	21 -30	1
	> 30	3
	Cielo abierto	1
	Ríos	1
Disposición de los desechos fitosanitarios	Quema	16
	Entierra	5
	Recicla	2
	No lo hace	8
	Dentro de casa con tapa	0
Almacenamiento del agua	Dentro de casa sin tapa	1
	Fuera de casa con tapa	7
	Fuera de casa sin tapa	22

Elaborado por: Los autores.

**2.5. Análisis del sistema actual**

En el primer capítulo se mencionó que el sistema de conducción fue construido por habitantes de la comuna hace 35 años, se estima que las diferentes unidades que tiene el sistema ya cumplieron su vida útil.

El afloramiento se encuentra entre rocas de gran tamaño que se han deslizado por la inestabilidad de los márgenes de la quebrada; el entorno del afloramiento está cubierto de vegetación propia de la zona.

**2.5.1 Captación.**

En un inicio la captación en el afloramiento “Dos Piedras”, fue un tanque construido por los habitantes de la zona, pero, debido a los deslizamientos de rocas de gran tamaño, el tanque quedó cubierto y fuera de funcionamiento. Posterior al accidente natural, la actual captación tomo lugar a lado derecho del tanque en la cota 3277.477 m.s.n.m., ante esto, la comuna

construyó un pequeño dique de material de lugar con un tubo tipo toma directa, a su vez captan agua del tanque averiado a través de una tubería de PVC, la cual se intercepta con la tubería de la toma directa; esta toma presentaba varias fugas originadas por el mal acoplamiento del accesorio (Y) - tuberías; además de producirse filtraciones superficiales del tanque arruinado, formando un riachuelo cuya corriente de agua escurre ladera abajo siguiendo la topografía de la quebrada.

### Figura 13

*13a. Tanque inhabilitado por el deslizamiento de rocas y 13b. Captación existente.*



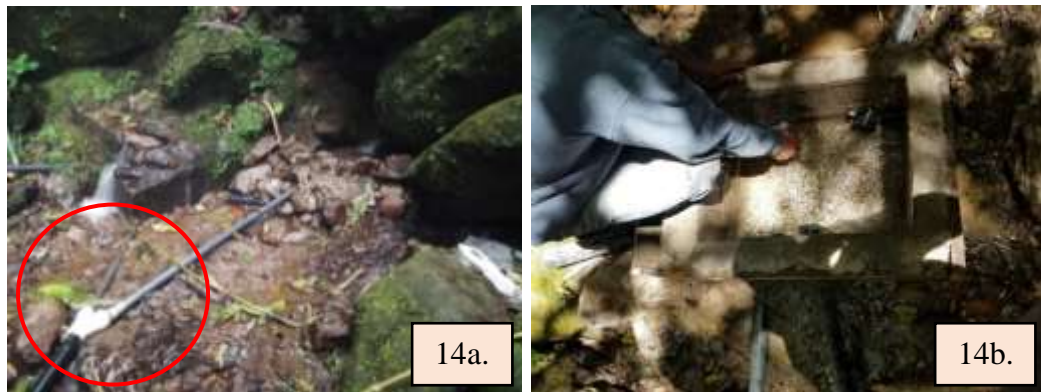
Elaborado por: Los autores.

Al inicio del mes agosto de 2020, los habitantes de la comuna construyeron un tanque pequeño a una distancia de 1 metro del afloramiento, este tanque reemplazó al accesorio (Y), con el fin de evitar el paso de sólidos suspendidos y sedimentos hacia la línea de aducción, otro factor importante para la construcción del tanque fue la necesidad de cubrir con la demanda de agua de los habitantes, en época de verano.



## Figura 14

14a. Unión de caudales mediante accesorio (Y) y 14b. Implementación del tanque.

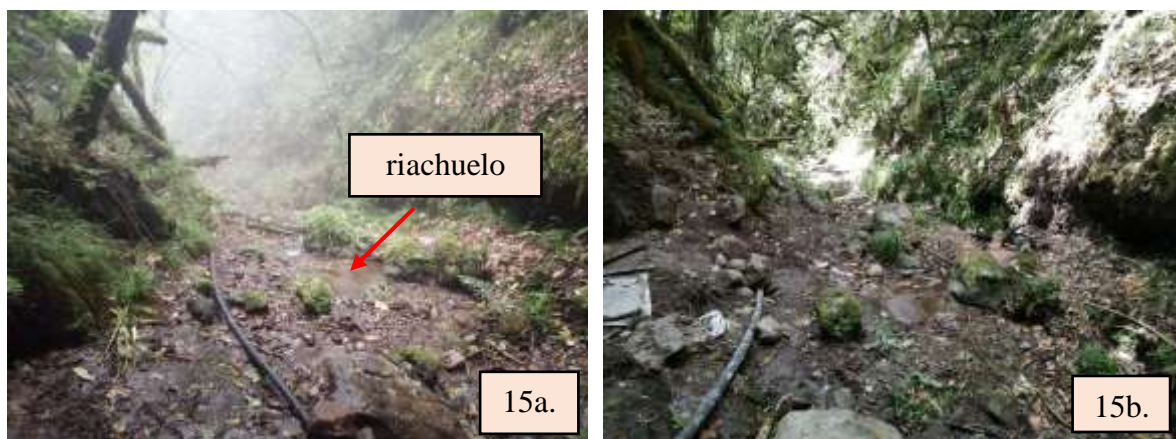


Elaborado por: Los autores.

Como consecuencia de la implantación de esta obra, el riachuelo que antes se formaba aguas abajo, desapareció temporalmente.

## Figura 15

15a. Presencia del riachuelo aguas abajo y 15b. Desaparición temporal del riachuelo.



Elaborado por: Los autores.

### 2.5.2 Línea de aducción.

La línea de aducción del sistema trabaja a gravedad, debido al nivel de la fuente de abastecimiento respecto al tanque de almacenamiento.

En el primer tramo del sistema, la línea de aducción se conecta a la captación con una tubería de material flexible PVC con diámetro de 2"; a una distancia de 162,68 m desde la captación, la tubería libra una distancia de 13,5 m de largo y 6 m de profundidad, apoyada sobre la rama de un árbol, situado en la mitad de una pequeña quebrada; continuando la trayectoria de la tubería a 359,37 m desde la captación, se ubica una cámara rompe presión en donde se da lugar una confluencia de caudal que proviene de una fuente superficial denominada "Yacubiana".

Después de esta confluencia la tubería recorre una distancia 1022,54 m hasta el segundo tanque rompe presión de doble cámara, en la cámara seca hay dos válvulas de compuerta, una de ellas permite la descarga de caudal al exterior, el recorrido finaliza con una distancia de 652,75 m hasta llegar al tanque de almacenamiento; la longitud total de la línea de aducción es de 2034,64 m.

Se evidenció que la línea de aducción, no cuenta con un sistema completo que evite los fallos por presión, provocando la presencia de burbujas en la recepción de agua de los grifos de los domicilios; además la tubería al ser de material flexible PVC, no apto para la conducción de agua, y al no cumplir con el recubrimiento necesario para evitar aplastamiento, producen el desgaste del material y una conducción deficiente en el sistema que ocasiona el reemplazo de tubería que ha sufrido daños.

**Figura 16**

*16a. Profundidad de 6m del cruce de quebrada y 16b. Cruce de quebrada de 13,5m .*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 17**

*Tubería PVC de 2" descubierta.*



Elaborado por: Los autores.

## Figura 18

*Cámara rompe presión (confluencia de las dos fuentes).*



Elaborado por: Los autores.

## Figura 19

*19a. Tanque rompe presión de doble cámara y 19b. Cámara seca.*



Elaborado por: Los autores.

### 2.5.3 Tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento está conformado por una cámara seca de 1,3 x 1,3 x 2,5 m y una cámara húmeda de 3,95 x 4,30 x 3,5 m, cuenta con una capacidad de 60 m<sup>3</sup>. En el interior

de la cámara seca se evidenció una válvula de cierre y una tubería de desfogue de material mixto de PVC y hierro galvanizado de diámetro de 2”.

El problema que presenta el tanque de almacenamiento es el desbordamiento del agua en épocas de invierno.

### **Figura 20**

*Vista frontal del tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores.

### **Figura 21**

*Tanque de almacenamiento, 21a. Cámara húmeda y 21b. Cámara de válvulas*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 22**

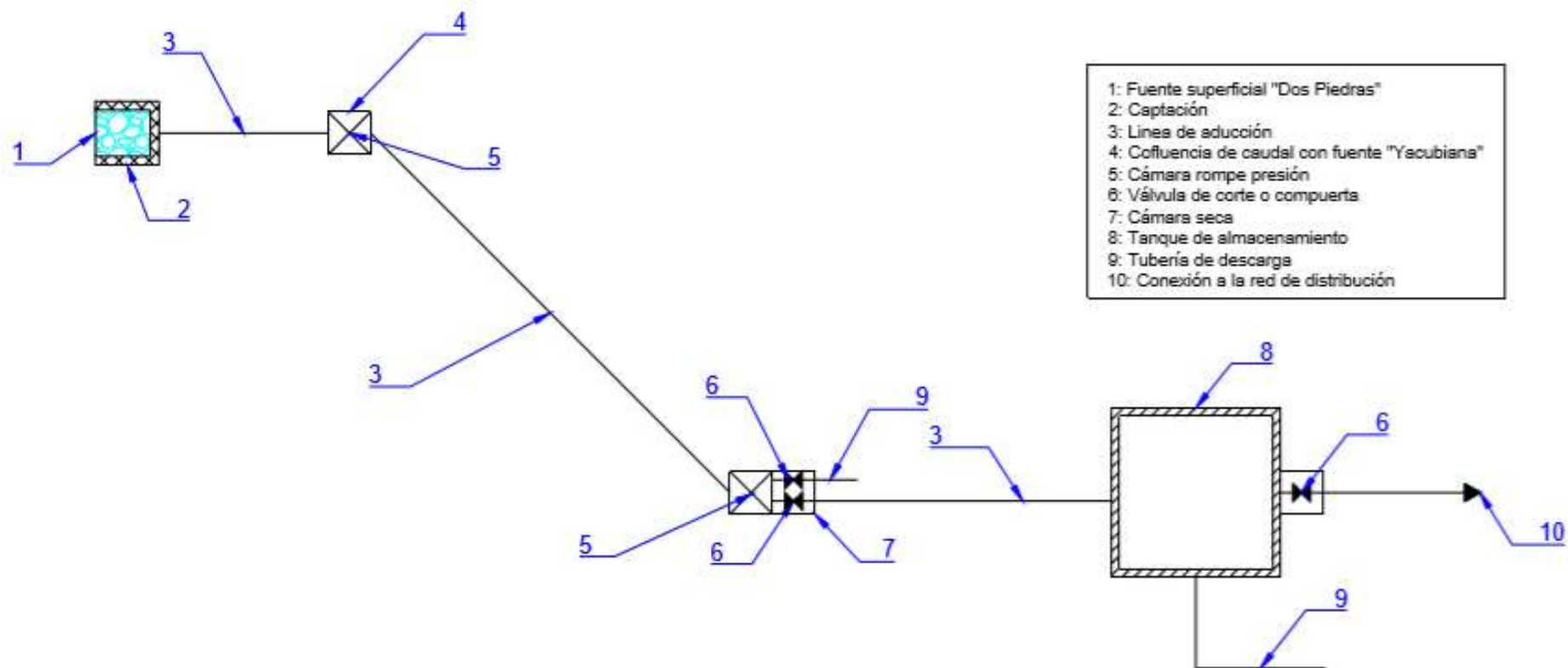
*Tubería de desfogue hacia la vía de acceso a la ladera.*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 23**

*Esquema del sistema de conducción actual*



Elaborado por: Los autores.

## **CAPÍTULO III**

### **BASES DE DISEÑO**

#### **3.1. Periodo de diseño**

El periodo de diseño está relacionado con varios factores que afectan a los elementos del sistema, este periodo indica el tiempo que la estructura del sistema podrá trabajar sin la necesidad de una reparación o reestructuración.

Según la (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural) el periodo de diseño establecido para obras que contemplan sistemas de agua potable es igual 20 años.

#### **3.2. Población de Diseño**

##### **3.2.1 Cálculo de la población futura**

Del registro de la población actual, se calcula la población futura del proyecto que será la población de diseño, este cálculo se lo realizará a 20 años considerando el periodo de diseño adoptado para el proyecto.

La (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural) en el numeral 4.2 recomienda utilizar el método geométrico para realizar el cálculo de población futura, la misma debe ser inferior a 1,25 % la población actual (SENAGUA, 2014).

##### **3.2.2. Método geométrico**

Este método supone que el crecimiento poblacional es constante siguiendo una forma geométrica. La población futura se calcula con la utiliza la siguiente formula:

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



Donde:

Pf: población futura (hab.).

Pa: población actual (hab.).

r: tasa de crecimiento geométrico de la población (%).

n: periodo de diseño (años).

Cuando existe carencia de información para determinar la tasa de crecimiento geométrico del proyecto en la tabla 5.1, la norma (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, 2014) recomienda una tasa de crecimiento poblacional del 1% para la Sierra.

### Tabla 7

*Cálculo de la población futura para un periodo de 20 años.*

<b>i (%)</b>	<b>1</b>	<b>N. años</b>	<b>10</b>	<b>N. años</b>	<b>20</b>
2020		2030		2040	
población (hab.)	542	población (hab.)	599	población (hab.)	662

Elaborado por: Los autores.

$$Pf = 542 * \left(1 + \frac{1,00}{100}\right)^{20} = 662 \text{ hab.}$$

La proyección de la población para el diseño de los componentes del sistema de conducción también supone: una población que migra a otras ciudades y no utiliza el caudal por largos periodos de tiempo, sin embargo, realizan visitas periódicas al inmueble, esta población se denomina población flotante y la otra población supuesta, se prevé que es población atraída por los recursos turísticos de la zona en los próximos años.

Por lo tanto, con estos antecedentes mencionados la población futura considerada para el diseño del proyecto es de 662 habitantes, con una tasa de crecimiento geométrico asumida de

1,00%. Este resultado manifestó que en veinte años la población tendrá un aumento de 120 habitantes.

### 3.3. Dotación y consumo

#### 3.3.1 Consumo de agua.

El consumo de agua exige una población en un periodo determinado, esta expresada en litro/unidad/día o términos relacionados, dependiendo su unidad del uso que se destina al agua.

La comuna de Quinticusig presenta un consumo de agua muy variado debido a la existencia de: población rural, industrias comunitarias de vino, una escuela, un cementerio y una asociación; se categorizaron estos consumos como: uso doméstico, uso público y uso industrial.

##### 3.3.1.1. *Uso doméstico.*

El uso doméstico contempla las actividades básicas diarias con algún consumo de agua. La dotación designada a cada actividad se determinó mediante datos entregados por la población, los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Dotación doméstica.*

Consumo	Dotación (l/hab. /día)
Aseo personal	40
Descarga sanitaria	16
Lavado de ropa	15
Cocina y alimentos	25
Animales	45
Jardín y huertos	120
TOTAL (Ddom)	261

Elaborado por: Los autores.

### **3.3.1.2. Uso público.**

La comuna Quinticusig, cuenta con varios espacios de uso público con acceso al servicio de agua; debido al caso de no contar con datos disponibles del consumo de agua para uso público, se adoptó el 1.5% del consumo medio diario doméstico para el consumo de espacios públicos, con la excepción de la escuela de Educación Básica Antonio Clavijo, se consideró una dotación de 20 l/alumno/jornada (RAS, 2010, págs. 23,34).

**Tabla 9**

*Uso público.*

Consumo	Dotación (l/hab. /día)
Escuela de Educación Básica Antonio Clavijo	6,667
Cementerio	3,915
Casa comunal	3,915
Asociación de mujeres	3,915
Capilla	3,915
TOTAL (Dpub)	22,33

Elaborado por: Los autores.

### **3.3.1.3. Uso industrial.**

Esta categorización corresponde al consumo de agua que realizan las dos empresas comunitarias de vino existentes en la zona de estudio. Los propietarios de las empresas vineras proporcionaron información a los autores para registrar los datos asignados a la dotación para cada punto de consumo considerado.

**Tabla 10**

*Consumo de agua de Miembros de la organización comunitaria de producción alimentaria "Perla Andina".*

Puntos de consumo		l/ día
Nave de elaboración	Limpieza	8,57
Tanque fermentador	Lavado-llenado	5,33
Botellero	Limpieza	3,86
Esterilización de botellas	Limpieza	34,29
Vestuarios	Lavabo-inodoro-limpieza	136,67
Oficinas	Lavabo-limpieza	30
TOTAL (Qind1)		437,44

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 11**

*Consumo de agua de la empresa productora y comercializadora vino de mortiño "El último Inca".*

Puntos de consumo		l/ día
Nave de elaboración	Limpieza	25,71
Tanque fermentador	Lavado-llenado	10,66
Botellero	Limpieza	15,44
Esterilización	Limpieza	68,58
Vestuarios	Lavabo-inodoro-limpieza	320
Oficinas	Lavabo-limpieza	60
TOTAL (Qind2)		1000,78

Elaborado por: Los autores.

### 3.3.2. Dotación de diseño

La dotación de diseño se obtiene de la suma total del consumo de agua designada para uso doméstico, uso público y uso industrial.

$$D_{dom} + D_{pub} = D_{T1}$$

$$D_{T1} = (261 + 22,33) \text{ l/hab./día}$$

$$D_{T1} = 283,327 \text{ l/hab./día}$$

$$D_{ind1} + D_{ind2} = D_{T2}$$

$$D_{T2} = (437,440 + 1000,78)1438,22 \text{ l/producción/día}$$

$$D_{T2} = 1438,22 \text{ l/producción/día}$$

### 3.4. Caudales de diseño

El caudal de diseño presenta variaciones para cada componente del sistema, se recopiló los valores sugeridos para una población de diseño inferior a los 1000 habitantes indicados en la (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural), en la siguiente tabla se indica el caudal de diseño utilizado para los componentes de un sistema de agua potable.

**Tabla 12**

*Caudal de diseño para los componentes de un sistema de agua potable.*

Componente	Caudal
Captación	Máximo diario + 20 %
Línea de aducción	Máximo diario + 10 %
Desarenador	Máximo diario + 10 %
Tanque de almacenamiento	Máximo diario + 10 %

Fuente: (SENAGUA, 2014).

#### 3.4.1. Caudal medio

El caudal medio es el consumo medio diario que realizan los habitantes de una localidad durante un año. Para realizar el cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_m = f * \frac{pf * D}{86400}$$

Donde:

Qm: caudal medio (l/s).

f: factor de fugas.

Pf: población futura (hab.).

D: dotación futura (l/habitante/día).

La norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, en la tabla 5.4., establece el porcentaje de fugas correspondiente para el nivel de servicio adoptado (SENAGUA, 2014).

**Tabla 13**

*Porcentajes de fugas a considerarse en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.*

Nivel de servicio	Porcentaje de fugas
Ia y Ib	10%
Ila y Ilb	20%

Fuente: (SENAGUA, 2014)

El factor de fugas adoptado de la Tabla 13 corresponde al valor del 20%, para un nivel de servicio Ila (SENAGUA, 2014).

**Tabla 14**

*Nivel de servicio para el sistema de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.*

Nivel	Sistema	Descripción
Ila	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua

Simbología utilizada  
 AP: Agua Potable  
 EE: Eliminación de excretas

Fuente: (SENAGUA, 2014).

$$Q_m = 1,2 * \frac{\left(283,327 \frac{l}{hab * día} * 662hab\right) + 1438,22 l/día}{86400 s}$$

$$Q_m = 2,625 l/s$$

### 3.4.2. Caudal máximo diario

Este caudal es el máximo valor registrado de una serie de datos, tomados durante todos los días del año. La ecuación empleada para determinar este caudal considera un factor de mayoración, asignado a eventos culturales o actividades realizadas por la población, que demanden mayor consumo de agua. (Romero & Duque, 2005, pág. 10)

$$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m$$

Donde:

QMD: caudal máximo diario (l/s).

KMD: factor de mayoración máximo diarios.

Qm: caudal medio (l/s).

$$Q_{MD} = 1,25 * 2,625 \text{ l/s}$$

$$Q_{MD} = 3,281 \text{ l/s}$$

### 3.5. Volumen de regulación

Este volumen ajusta la demanda de la población de servicio y el caudal suministrado por la fuente, frente a imprevistos como daños en la línea de aducción, deslizamientos de tierra en el área de la captación.

La norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural; en el numeral 5.5 indica un valor máximo del 50% del caudal diseño que requiere la población futura como capacidad de almacenamiento. (SENAGUA, 2014)

$$V_{reg} = 50\% Q_m$$

$$V_{reg} = 0,5 * 2,625 \text{ l/s}$$

$$V_{reg} = 1,313 \text{ l/s}$$

$$V_{reg} = 113,40 \text{ m}^3/\text{día}$$

El cálculo indica un volumen de 113,40 m<sup>3</sup> necesarios para cubrir la demanda de los usuarios del sistema, se adopta un volumen de regulación de 126 m<sup>3</sup>/día para asegurar el caudal en épocas de sequía y considerar el volumen ocasionado por los posibles sedimentos.

### **3.5.1. Comprobación del volumen de regulación.**

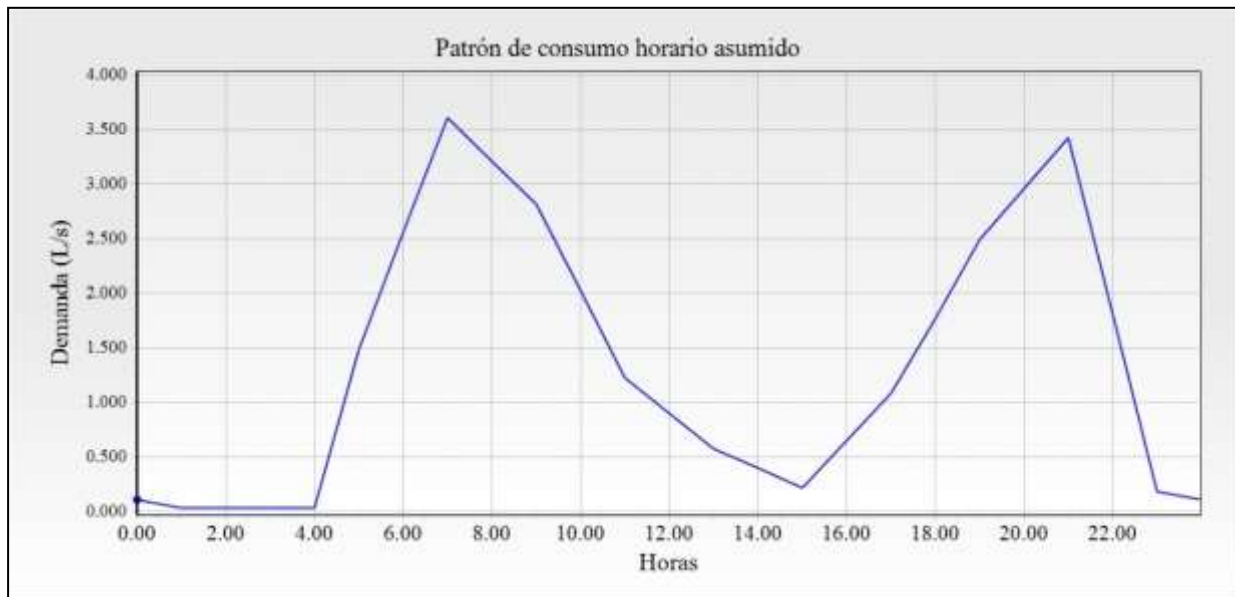
Para comprobar el volumen de regulación adoptado se utilizó el software WaterCad10, el patrón de consumo presentado en el trabajo de titulación “Caracterización de la curva de consumo diario de la red de agua potable de los sectores Izamba, Cunchibamba y Unamuncho I del cantón Ambato, 2019” y el caudal de diseño de la línea de aducción, el cual será multiplicado por factores de consumo para determinar el caudal máximo horario para un periodo de 24 horas.

En base a los datos extraídos, se realizó un ajuste de los factores de consumo para el presente proyecto, el patrón de consumo propuesto se indica en la ilustración 13, extraída de la simulación generada por el software.



**Figura 24**

*Patrón de consumo asumido.*



Elaborado por: Los autores a través de WaterCAD10.

Posterior a ello, se expone en las siguientes ilustraciones que no se presentaron inconvenientes de presiones negativas en los tramos de la línea de aducción, seguida de la variación de presión que se da en el tanque de almacenamiento en intervalos de tiempo de 2 horas durante un día.

**Figura 25**

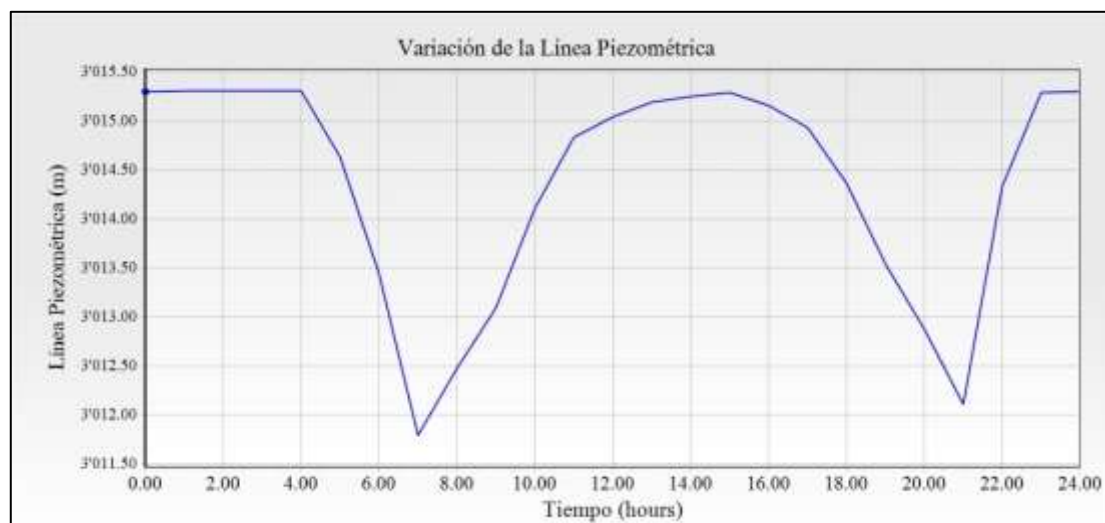
*Resumen del cómputo realizado por el software WaterCad.*

Time (hours)	Balanced?	Trials	Relative Flow...	Flow Supplied (L/s)	Flow Demanded (L/s)	Flow Stored (L/s)
All Time Steps(...)	True	157	0.0000000	1.350	1.350	0.000
0.00	True	7	0.0000000	0.108	0.108	0.000
1.00	True	7	0.0000000	0.036	0.036	0.000
2.00	True	1	0.0000000	0.036	0.036	0.000
3.00	True	1	0.0000000	0.036	0.036	0.000
4.00	True	1	0.0000000	0.036	0.036	0.000
5.00	True	7	0.0000000	1.480	1.480	0.000
6.00	True	7	0.0000000	2.562	2.562	0.000
7.00	True	7	0.0000000	3.609	3.609	0.000
8.00	True	7	0.0000000	3.212	3.212	0.000
9.00	True	7	0.0000000	2.815	2.815	0.000
10.00	True	7	0.0000000	2.021	2.021	0.000
11.00	True	7	0.0000000	1.227	1.227	0.000
12.00	True	7	0.0000000	0.902	0.902	0.000
13.00	True	7	0.0000000	0.577	0.577	0.000
14.00	True	7	0.0000000	0.397	0.397	0.000
15.00	True	7	0.0000000	0.217	0.217	0.000
16.00	True	7	0.0000000	0.650	0.650	0.000
17.00	True	7	0.0000000	1.083	1.083	0.000
18.00	True	7	0.0000000	1.768	1.768	0.000
19.00	True	7	0.0000000	2.490	2.490	0.000
20.00	True	7	0.0000000	2.959	2.959	0.000
21.00	True	7	0.0000000	3.429	3.429	0.000
22.00	True	7	0.0000000	1.804	1.804	0.000
23.00	True	7	0.0000000	0.180	0.180	0.000
24.00	True	7	0.0000000	0.108	0.108	0.000

Elaborado por: Los autores a través de WaterCAD10.

**Figura 26**

*Variación de la presión en el tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores a través de WaterCAD10.

De los resultados presentados se desprende que el mayor consumo se da a las 7 horas de la mañana con un caudal de demanda de 3,609 l/s, mientras que el consumo es mínimo durante la 1 a 5 horas de la madrugada con un caudal de demanda de 0,036 l/s. Los resultados no superan el caudal de diseño del sistema.

### **3.6. Estudios de topografía.**

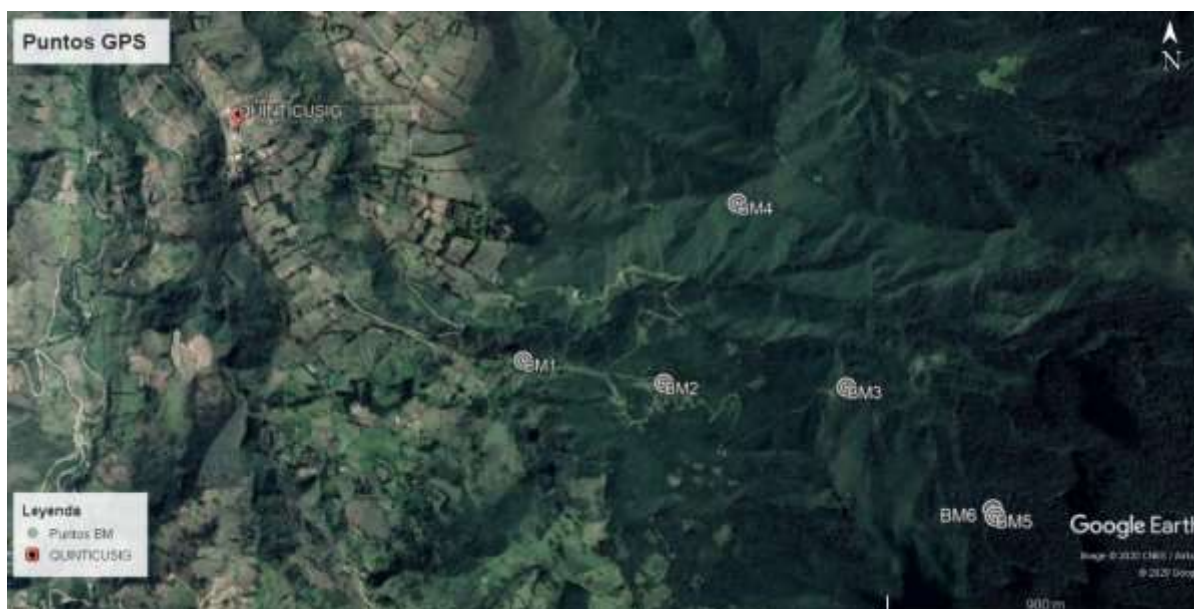
Previo al estudio, se realizó una visita técnica en acompañamiento de dirigentes de la comuna Quinticusig y docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, donde se evidenció el trazado del sistema de conducción actual, además se evidenció la inexistencia de puntos georreferenciados, base para iniciar con el levantamiento topográfico para el proyecto *“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS”*.

#### **3.6.1. Puntos de enlace GPS.**

Se realizó el posicionamiento de seis puntos de enlace GPS, que proporcionaron información de: longitud, latitud, y altitud del proyecto en base al sistema de coordenadas geográficas UTM; estos puntos están dispuestos en el terreno de tal forma que permitan obtener una mayor cobertura y precisión al momento de realizar el levantamiento topográfico.

#### **Figura 27**

*Puntos GPS colocados en el Proyecto.*



Elaborado por: Los autores a través de la herramienta Google Earth.

En la tabla 15 se detalla la información obtenida en cada punto de enlace GPS, a los cuales se denominó BM:

**Tabla 15**

*Puntos GPS colocados en el proyecto.*

Descripción	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)
BM1	9920008.89	738622.967	2963.000
BM2	9919925.98	739169.674	3018.338
BM3	9919918.63	739840.72	3188.459
BM4	9920596.87	739435.304	3152.828
BM6	9919498.35	740322.748	3273.205
BM5	9919478.5	740326.559	3277.477

Elaborado por: Los autores.

### **3.6.2. Equipos y Herramientas**

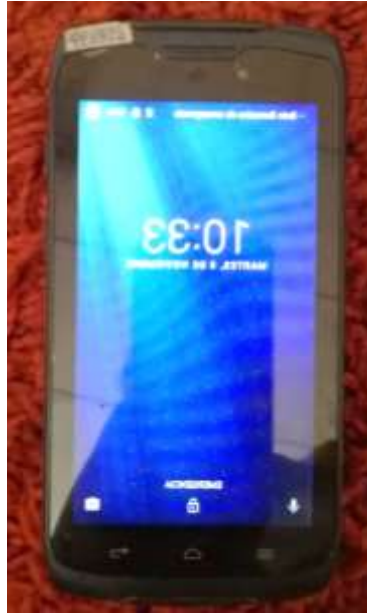
#### **3.6.2.1. GPS.**

Marca Spectra Precision modelo Mobile Mapper 50, el cual ofrece una precisión inferior a 1.5 m y procesamiento menor a 80 cm gracias a un GNSS de las siguientes características: Antena interna: 72 canales, GPS L1 C/A, GLONASS L1 C/A, Galileo E1, Beidou B1, SBAS:

WAAS/EGNOS/MSAS/GAGAN/QZSS, sistema tri-constelación: GPS/GAL o GPS/GLO/GAL o GPS/Beidou/GAL.

### **Figura 28**

*GPS Marca Spectra Precision modelo Mobile Mapper 50.*



Elaborado por: Los autores.

#### **3.6.2.2. Estación Total.**

Marca Spectra Precision, modelo Focus 2, con precisión angular de 30" de medición de distancia rápida (0,3 s) y precisa (2+2 ppm), tiene un alcance de 500 m sin prisma y hasta 4.000 m con prisma de largo alcance.

**Figura 29**

*Estación total Marca Spectra Precision, modelo Focus 2.*



Elaborado por: Los autores.

Marca Trimble, modelo M3, con precisión angular de 2", doble batería interna, doble pantalla táctil a color, 3 sistemas laser, pantalla doble táctil a color, conexión a flash memory, memoria interna para 10'000.000 puntos y planos de AutoCAD, medición sin prisma hasta 500 m y con prisma de hasta 5.000 m, alta resistencia de impermeabilidad de agua y polvo IP66.

**Figura 30**

*Estación total Marca Trimble, modelo M3.*



Elaborado por: Los autores.

### **3.6.2.3. Nivel.**

Marca GEOMAX, modelo ZAL 132, con 32 x de aumentos, precisión de +/- 2 mm, limbo horizontal, compensador automático y estanco al agua, protección de clase IP54.

### **Figura 31**

*Marca GEOMAX, modelo ZAL 132.*



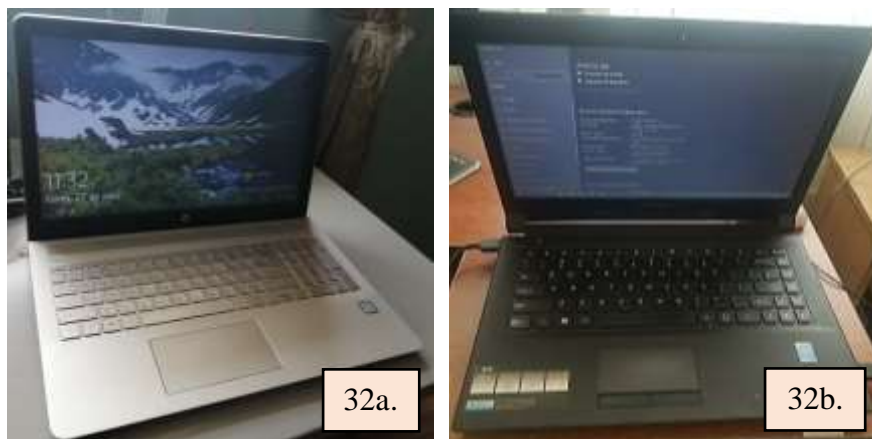
Elaborado por: Los autores.

### **3.6.2.4. Ordenadores.**

Marca HP modelo Pavilion, de séptima generación con un procesador core i5 de 2.71 GHz y memoria RAM de 8 GB; marca Lenovo modelo B40-80, de 4 generación con un procesador core i3 de 1.7 GHz y memoria RAM de 6 GB.

## Figura 32

32a. Marca HP modelo Pavilion, 32b. Marca Lenovo modelo B40-80.



Elaborado por: Los autores.

### 3.6.2.5. Herramienta menor.

La herramienta constituye: estacas, clavos, martillos, combos, machetes, etc.

### 3.6.3. Trabajos de Campo

Se planteó aplicar el método de la poligonal abierta, el cual consiste en realizar diferentes paradas con la estación a lo largo de líneas quebradas, se determina el ángulo horizontal tomado en sentido horario que forma entre vértices y las distancias que hay entre cada uno.

Este método es aplicable cuando se conocen las coordenadas que tiene un punto de entrada y un punto de salida. A partir de dos puntos de control a la entrada y salida, determinamos los azimuts correspondientes, a continuación, se mide los ángulos que existen en las alineaciones. Al finalizar el recorrido es posible realizar controles de cierre angular y cierre lineal.



**Tabla 16***Puntos de control*

Identificación	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m)
	Norte	Este	
BM1	9920008,893	738622,97	2963
BM2	9919925,977	739169,67	3018,377
P77	9919650,463	740121,87	2995,564
P78	9919643,792	740177,32	3255,873

Elaborado por: Los Autores.

Para este método se realizó un recorrido de 1765,683 m, inició en el hito “BM1” ubicado en el tanque de almacenamiento, siguiendo el trazado de la línea de aducción existente hasta un punto denominado “P77”.

En este tramo del proyecto fue necesario cambiar de metodología para obtener las coordenadas geográficas del proyecto, debido al mal tiempo y clima, circunstancias actuales que vive el país. El segundo equipo empleado fue el TRIMBLE - M3, proporcionando rapidez y agilidad en el trabajo.

El punto “P77” se determinó mediante un enlace con el punto GPS “BM4”, el cual tiene coordenadas reales, latitud, longitud y altitud, proporcionando la misma información para el punto “P77”, a partir de este punto identificado se realizó la misma metodología utilizando puntos de enlace para concluir el trazado del sistema de conducción, en los hitos “BM5” y “BM6” ubicados en la captación.

Para el proyecto se recogió la información únicamente de latitud y longitud, ya que las cotas reales se plantearon determinar con la nivelación del trazado completo del sistema de conducción.

### Figura 33

*Levantamiento topográfico.*



*Elaborado por: Los autores.*

Para la nivelación del terreno se utilizó el método de la nivelación geométrica compuesta, método muy utilizado para medir la diferencia de niveles entre dos puntos.

El procedimiento consiste en ubicar el nivel entre dos puntos, con la mira aplomada en cada uno de estos, se toma la lectura frontal y se anota este dato en una libreta. Este proceso se realizó en diferentes paradas hasta llegar al objetivo. Debido a las pendientes pronunciadas del terreno se utilizó puntos intermedios.

## Figura 34

*Nivelación.*



Elaborado por: Los Autores.

### **3.6.4. Trabajos de Gabinete.**

#### ***3.6.4.1 Corrección de errores en el levantamiento topográfico.***

Del trabajo realizado en campo se recogieron las diferentes lecturas de ángulos horizontales, distancias y cotas.

El método de la poligonal abierta recoge los datos de ángulos horizontales y distancias de las líneas quebradas del polígono abierto, por medio de estos datos obtenidos en campo y con la ayuda de una hoja electrónica en Excel se determinó las coordenadas calculadas.

El control angular se realiza a partir de la tolerancia y el error angular expresados en términos de grados sexagesimales. La tolerancia está en función de la precisión angular que el equipo ofrece, la precisión del equipo Marca Spectra Precision, modelo Focus 2 es de 30". Es así que se debe cumplir con la siguiente condición  $\text{error angular} < \text{tolerancia angular}$ , una vez verificada esta condición se continua con la corrección angular.

La corrección angular se reparte de forma acumulativa para cada azimut, de tal modo que el primer azimut corregido es igual al error angular, el segundo azimut corregido será igual a 2 veces el error angular, este procedimiento se realiza progresivamente hasta llegar al total de ángulos leídos.

De la misma forma el control lineal se realizó a partir de la siguiente comparación tolerancia > error lineal expresados en términos de metros. Se empleó la siguiente ecuación para determinar la tolerancia lineal en terrenos ondulados (Casanova, 2003, pág. 10).

$$Tolerancia\ lineal = 0,025 * \sqrt{\sum Distc. (m)}$$

A continuación, se presenta un resumen de los resultados obtenidos del control angular y lineal.

**Tabla 17**

*Coordenadas conocidas de partida.*

	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
BM2	9919925,977	739169,67
P77	9919650,463	740121,87
Diferencia	-275,517	952,193

Elaborado por: Los Autores.

**Tabla 18***Control angular y control lineal.*

Ángulos leídos	41	#
Error angular	0,01306	sexdc.
Tolerancia angular	0,05336	sexdc.
Error angular < Tolerancia angular		
0,01306 < 0,05336 OK		
Correc Ang	0,0003184	sexdc.
dif n	0,7404489	m
dif e	-0,1540708	m
corrc n	0,0006106	m
correc e	-0,0001270	m
Error lineal	0,7563	m
Tolerancia lineal	0,8706	m
Error lineal < Tolerancia lineal		
0,2622 < 0,2901 OK		

Elaborado por: Los Autores.

Para la nivelación, se utilizó una hoja de cálculo, en la cual se determinó las cotas reales del proyecto; el control de nivelación se realizó por medio la comparación de la tolerancia y el error, siendo la tolerancia mayor al error. La tolerancia del error del cierre se determinó con la siguiente ecuación:

$$Tolerancia = m * \sqrt{Distancia\ total\ (km)}$$

Donde:

m: valor dependiente de los instrumentos, método y tipo de nivelación requerida.

Para el proyecto se optó un valor de m igual 25 mm, debido al uso y manejo que el equipo ha tenido en su trayecto.

Después de realizar la verificación de la comparación mencionada, se procede a la compensación de nivelaciones, la misma reparte el error de manera equitativa entre el número de cambios que se realizó en el recorrido de la distancia total. Considerando el número

de cambios y la compensación de nivelaciones para cada uno, se calculan las cotas corregidas.  
(Casanova, 2003)

**Tabla 19**

*Cota de salida y cota de llegada*

	Cota real (m)
BM1	2963,000
BM5	3277,478

*Fuente:* Los Autores.

**Tabla 20**

*Control de la nivelación geométrica compuesta*

Distancia total	2078,24	m
Tolerancia	36,04	mm
Error	-34	mm
Error < Tolerancia		
34 < 36,04 OK		
$\Sigma$ Vista posterior	362,008	m
$\Sigma$ Vista frontal	47,564	m
$\Sigma$ Vista posterior - $\Sigma$ Vista frontal	314,444	m
$\Sigma$ Diferencia de nivel	314,444	m
$\Sigma$ Vista posterior - $\Sigma$ Vista frontal = $\Sigma$ Diferencia de nivel		
314,444 = 314,444 OK		

Elaborado por: Los Autores.

Los cálculos realizados en las hojas de Excel y planos correspondientes, se indican en el Anexo B y Anexo C.

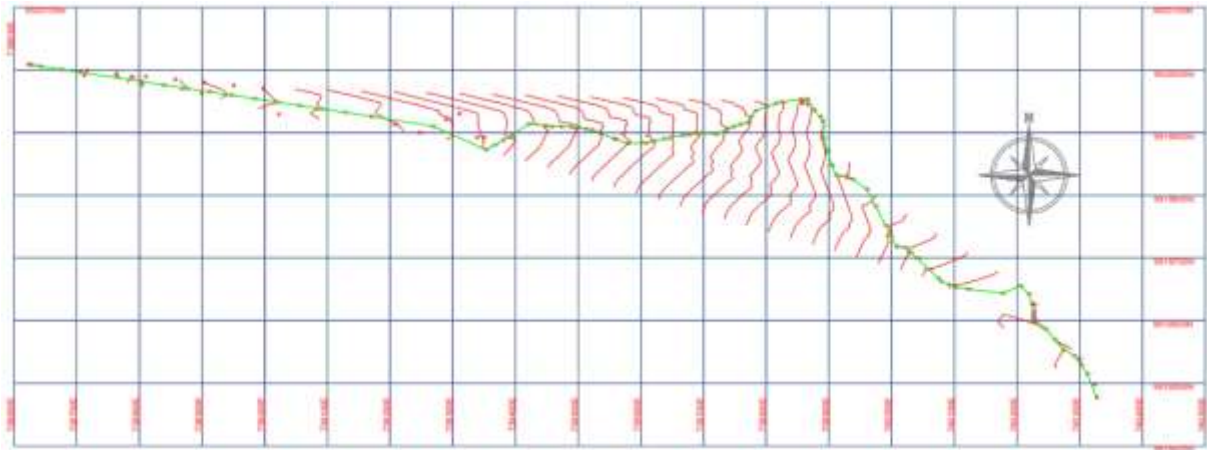
#### ***3.6.4.2 Creación de la superficie y perfil longitudinal del terreno.***

Con los datos obtenidos de coordenadas norte, este y altitud, se procede a crear la superficie y el perfil del terreno sobre el cual se asentará la línea de aducción, para ello se utiliza el software Autodesk civil CAD.

El software permite el ingreso de la nube de puntos determinados en el levantamiento topográfico, generar curvas de nivel y perfiles del terreno.

**Figura 35**

*Superficie del terreno.*



Elaborado por: Los Autores.

**Figura 36**

*Perfil Transversal del terreno.*



Elaborado por: Los Autores.

### 3.7. Calidad del Agua.

El estudio de la calidad del agua consiste en realizar un análisis físico – químico del agua que está siendo utilizada para consumo doméstico dentro de la comuna, este análisis permite cuantificar una serie de parámetros establecidos en la cuarta parte de la (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural).

#### 3.7.1. Parámetros a estudiar.

Los parámetros a analizar están explicados mediante tablas en el numeral 4. disposiciones específicas de la (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural), y en la norma (NTE INEN 1108 : 2011).

**Tabla 21**

*Parámetros Físicos.*

Parámetros I			
Parámetro	Unidad	Limite deseable	Límite máximo permisible
Turbiedad	NTU	5	20
Cloro residual	mg/l	0.5	0.3 - 1.0
Ph	U	7.0 - 8.5	6.5 - 9.5
Parámetros II			
Parámetro	Unidad	Limite deseable	Límite máximo permisible
Coliformes totales	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Color	Pt - Co	5	30
Olor		Ausencia	Ausencia
Sabor		Inobjetable	Inobjetable

Fuente: (SENAGUA, 2014).



**Tabla 22***Parámetros Químicos.*

Parámetros III			
Parámetro	Unidad	Límite deseable	Límite máximo permisible
Dureza total	mg/l	120	300
Sólidos totales disueltos	mg/l	500	1000
Hierro	mg/l	0.2	0.8
Manganeso	mg/l	0.05	0.3
Nitratos	mg/l	10	40
Sulfatos	mg/l	50	400
Flúor	mg/l	1.06 - 1.17	1.5

Fuente: (SENAGUA, 2014)

La (Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua LIBRO VI ANEXO 1) en su Art. 4.1.1.3. establece un valor de dureza ( $\text{CaCO}_3$ ) no mayor a los 500 mg/l. (SENAGUA, 2017, pág. 14).

**Tabla 23***Sustancias tóxicas - metales pesados.*

Parámetros V			
Parámetro	Unidad	Limite deseable	Límite máximo permisible
Arsénico	mg/l	0	0.05
Plomo	mg/l	0	0.05
Mercurio	mg/l	0	0
Cromo hexavalente	mg/l	0	0.05
Cadmio	mg/l	0	0.005
Selenio	mg/l	0	0.01
Cianuro	mg/l	0	0
Cloroformo	mg/l	0	0.2

Fuente: (SENAGUA, 2014).

Los parámetros IV no son considerados, puesto que estos hacen referencia a la presencia de plaguicidas, la fuente de abastecimiento del sistema de agua se ubica en un páramo sin presencia de cultivos, por tal razón no es necesaria esta consideración.

### 3.7.2 Análisis físico – químico de la fuente

El estudio se realizó en la ciudad de Latacunga, por la dirección municipal de agua potable y alcantarillado “DIMAPAL”, en diciembre de 2019, las muestras de agua fueron tomadas en el sector de confluencia de las dos fuentes de agua “Yacubiana” y “Dos Piedras, el análisis se efectuó en las instalaciones de la planta de tratamiento de agua potable “Loma de Alcoceres”

Mediante oficio N° 2019 – 143 – JPTAPM, resuelve que el análisis 084 aplicado en la muestra 174 (Jta. A. P. Quinticusig Sigchos); los parámetros analizados están dentro de los límites permitidos por normativa para aguas potables.

Los resultados más relevantes para el estudio se encuentran expuestos en la siguiente tabla y han sido comparados con los valores deseables establecidos por norma, indicadas en las tablas 21, 22 y 23.

**Tabla 24**

*Comparación de los resultados del análisis físico-químico de la fuente con los límites deseables por norma.*

Parámetro	Valor	Limite	Unidad
Color	6,00	5,00	Upt.co
Turbiedad	0,65	5,00	NTU
Ph	7,04	7,00-8,00	U
Dureza	36,00	120,00	mg/l
Sulfatos	0,00	50,00	mg/l
Nitratos	0,20	10,00	mg/l
Dureza total	36,00	120,00	mg/l
Solidos disueltos totales	40,60	500,00	mg/l
Flúor	0,10	1,17	mg/l

Elaborado por: Los autores.

El informe completo se encuentra desglosados en el Anexo D.

### 3.7.3 Análisis físico – químico de la empresa productora y comercializadora vino de mortiño "El Último Inca".

El estudio se realizó en la ciudad de Quito, por parte del laboratorio Multianalityca el cual cuenta con acreditación de la SAE, en mayo de 2018, las muestras de agua fueron tomadas dentro de la empresa productora y comercializadora vino de mortiño "El último Inca"

Se indica que los parámetros analizados están dentro de los límites permisibles establecidos en la norma (NTE INEN 1108 : 2011) para agua potable.

Los resultados más relevantes para el estudio se encuentran expuestos a continuación, y han sido comparados con los valores deseables establecidos por norma, indicadas en las tablas 21, 22 y 23.

**Tabla 25**

*Comparación de los resultados del análisis físico-químico de la empresa "El Último Inca" con los límites deseables por norma.*

Parámetro	Valor	Limite	Unidad
Color	6,00	5,00	Upt.co
Turbiedad	0,60	5,00	NTU
Ph	7,08	7,00-8,00	U
Dureza	28,00	120,00	mg/l
Sulfatos	0,00	50,00	mg/l
Nitratos	0	10,00	mg/l
Dureza total	28,00	120,00	mg/l
Solidos disueltos totales	40,00	500,00	mg/l
Flúor	0,10	1,17	mg/l

Elaborado por: Los autores.

El informe completo se encuentra desglosados en el Anexo E.

### 3.8. Estudios de suelos

Permite obtener información del lugar donde se asentarán las futuras obras hidráulicas y conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

El estudio de suelos contempla la realización de la identificación del suelo, conocer el estado natural y la resistencia que presenta el material portante. Los ensayos se realizaron a muestras inalteradas tomadas en un punto cercano a la ubicación del tanque de almacenamiento del sistema.

## **Tabla 26**

*Ubicación del sitio de toma de muestras.*

Identificación	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m)
	Norte	Este	
Muestra 1	9920008,441	738563,705	2966,868
Muestra 2 y 3	9920010,443	738563,109	2967,210

Elaborado por: Los autores.

### **3.8.1. Toma de muestras y transporte.**

La extracción de muestras se realizó bajo los lineamientos establecidos en la norma (Toma de Muestras Inalteradas NTE INEN 687 : 1982).

La muestra 1 es un bloque de suelo con dimensiones de 45 x 45 x 45 cm extraído de un talud a la profundidad de 1.30 m. Esta muestra fue empleada para determinar la capacidad portante y el peso específico del suelo.

La muestra 2 y muestra 3 fueron extraídas de una calicata a cielo abierto, estas muestras son representativas del estrato 2 y 3, utilizadas para la identificación del suelo y conocer las propiedades físicas del mismo.

### Figura 37

Muestra de suelo para ensayos de capacidad admisible del suelo.




Elaborado por: Los autores.

En la tabla 27 se puede apreciar las características de los estratos encontrados en diferentes profundidades.

### Tabla 27

Estratigrafía.

Estrato	Profundidad (m)	Espesor (m)	Descripción visual
1	0,5	0,5	Capa vegetal, presencia de residuos orgánicos.
2	0,9	0,4	Material de color café claro, baja presencia de material orgánico y ceniza.
3	1,3	0,4	Material de color café oscuro con tendencia a negro.



Elaborado por: Los autores.

Para la conservación y traslado de las muestras hacia los laboratorios se cumplió con los requerimientos de la norma (Conservación y Transporte de Muestras de Suelos INV E - 103 - 2013).

### **Figura 38**

*Muestras Inalteradas embolsadas para su transporte.*



Elaborado por: Los autores.

#### **3.8.2. Clasificación de suelos.**

La clasificación de suelos obedece la norma (ASTM - D 2487 - 06, 2006), previo a la clasificación se realizó el ensayo de granulometría y el ensayo de límites de consistencia del suelo o límites de Atterberg.

El análisis granulométrico se realizó para el estrato 2 y el estrato 3 siguiendo la norma (ASTM - D 2487 - 06), esta establece una muestra de 500 g en estado húmedo para realizar el ensayo, el número de tamices y su abertura, además del procedimiento para el ensayo.

La determinación de los límites de consistencia requiere de 3 ensayos de laboratorios: la (Determinación del Contenido de Agua Método de Secado al Horno. NTE INEN 690 : 1982); La (Determinación del Límite Líquido Método de Casa Grande NTE INEN 691 : 1982); La (Determinación del Límite Plástico NTE INE 692 : 1982); en base a los procedimientos

descritos en las normas mencionadas se pudo obtener los parámetros necesarios para la identificación del suelo.

### 3.8.2.1. Clasificación SUCS.

#### 3.8.2.1.1. Estrato 2.

**Tabla 28**

*Límites de consistencia del estrato 2.*

Contenido de agua (%)	11,41
Límite líquido de suelo natural (%)	-
Límite plástico de suelo natural (%)	-
Índice de plasticidad	-

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 29**

*Clasificación del tamaño de partícula.*

Tipo de Suelo	Masa (g)	Porcentaje de Masa (%)	Tipo de Suelo	Masa (g)	Porcentaje de Masa (%)	Suelo dominante
Grava	0,59	0,12	Arena	376,6	75,32	Arena
Arena Gruesa	4,98	1,00	Grava	0,59	0,12	
Arena media	110,83	22,1	Limos y Arcillas	122,31	24,46%	
Arena fina	260,79	52,16				
Finos	122,31	24,46	Tipo de Suelo:		Arena Limosa	

Elaborado por: Los autores.

El estrato 2 obedece el comportamiento de un suelo Arenoso Limoso, tiene un porcentaje de finos superior al 12 % y un porcentaje de gravas menor al 15 %.

#### 3.8.2.1.2. Estrato 3

**Tabla 30.**

*Límites de consistencia del estrato 3.*

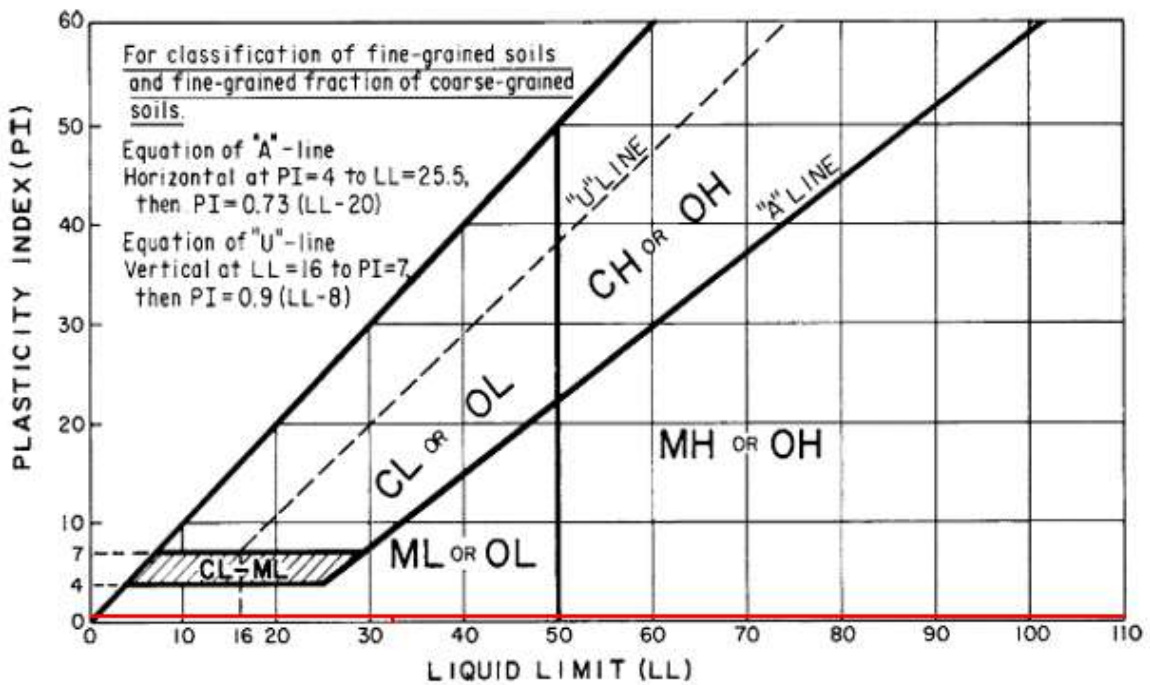
Contenido de agua (%)	25,37
Límite líquido de suelo natural (%)	33,53
Límite plástico de suelo natural (%)	33,43
Índice de plasticidad (%)	0,10

Elaborado por: Los autores.

El estrato 3 dentro de la cartilla de plasticidad se ubica como un suelo de tipo ML (Limo de baja compresibilidad) o OL (Limo Orgánico).

**Figura 39**

*Clasificación del estrato 3 en la cartilla de plasticidad.*



Elaborado por: Los autores.



**Tabla 31***Clasificación del tamaño de partícula del Estrato 3.*

Tipo de Suelo	Masa (g)	Porcentaje de Masa (%)	Tipo de Suelo	Masa (g)	Porcentaje de Masa (%)	Suelo dominante
Grava	0	0,00%	Arena	251,36	50,27%	Arena
Arena Gruesa	0,12	0,02%	Grava	0	0,00%	
Arena media	57,11	11,42%	Limos y Arcillas	248,63	49,73%	
Arena fina	194,13	38,83%				
Finos	248,63	49,73%	Tipo de Suelo:		Limo Orgánico Arenoso	

Elaborado por: Los autores.

Con un tipo de suelo OL, índice de plasticidad menor a 4, porcentaje de finos mayor al 30 %, porcentaje de arena superior al porcentaje de grava y con un porcentaje de grava inferior al 15%, se clasifica como un suelo Limo Orgánico Arenoso.

### 3.8.3. Peso específico del suelo.

La densidad natural o peso específico del suelo se obtuvo de la muestra de suelo 1 correspondiente al estrato 3 mediante el procedimiento especificado en la norma (ASTM - D 7263 - 09).

**Tabla 32.***Contenido de agua de la muestra 1.*

Recipiente N°	Masa del agua (g)	Masa seca (g)	Porcentaje de humedad (%)
$\alpha$	38,6	164,19	23,51
D	37,53	158,31	23,71
	Humedad promedio (%)		23,61

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 33***Densidad natural del estrato 3.*

Recipiente N°	Volumen real de la muestra (cm3)	Densidad natural (g/cm3)	Densidad seca (g/cm3)
1	166,38	1,669	1,350
2	134,75	1,656	1,339
	Promedio	1,662	1,345

Elaborado por: Los autores.

La densidad natural obtenida del ensayo corresponde a un suelo arenoso suelto.

**3.8.4. Ensayo triaxial no consolidado-no drenado.**

El ensayo triaxial no consolidado-no drenado (UU) o también conocido como prueba rápida, en este ensayo la consolidación de los especímenes no está permitida y el drenaje queda obstaculizado por el cierre de la bureta. La presión hidrostática y la aplicación de la carga axial que ejerce rápidamente, producen la falla del mismo.

Los resultados del ensayo se encuentran en el Anexo F.

**3.8.4.1. Cálculo de la capacidad última de carga.**

Para determinar la capacidad última de carga se utilizó la ecuación modificada por Meyerhof propuesta en el año de 1963, en base a la teoría de Terzaghi.

$$q_u = cN_cF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Donde:

c: cohesión no drenada (kg/m<sup>2</sup>).q: tensión efectiva en el nivel de la parte inferior de la base (q= γ \* Df en kg/m<sup>2</sup>).γ: peso unitario del suelo (kg/m<sup>3</sup>).

B: ancho de la cimentación (m).

$F_{cs}$ ,  $F_{qs}$ ,  $F_{\gamma s}$ = factores de forma.

$F_{cd}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{\gamma d}$ = factores de profundidad.

$F_{ci}$ ,  $F_{qi}$ ,  $F_{\gamma i}$ = factores de inclinación de carga.

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ = factores de capacidad de carga.

Los factores de forma, profundidad e inclinación de carga se determinaron a partir de las siguientes relaciones indicadas en el libro (Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 2015, pág. 485) en la tabla 16.3 Factores de forma, profundidad e inclinación recomendados como se presentan a continuación:

- Factor de forma, De Beer (1970):

$$F_{cs} = 1 + \frac{B N_q}{L N_c}$$

$$F_{qs} = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi'$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

Para  $L > B$

Donde:

L: longitud de la cimentación (m).

- Factor de profundidad, Hansen (1970):

$$\frac{D_f}{B} \leq 1$$

Para  $\phi' > 0$ :

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan\phi'(1 - \sin\phi')^2 \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$\frac{D_f}{B} > 1$$

Para  $\phi' > 0$ :

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan\phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan\phi'(1 - \sin\phi')^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B}\right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

- Factor de inclinación, Meyerhof (1963), Hanna y Meyerhof (1981):

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ}\right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi'}\right)^2$$

Donde:

$\beta$ : inclinación de la carga sobre la cimentación con respecto a la vertical.

Los factores de capacidad de carga se determinaron con las siguientes expresiones deducidas por diferentes autores:

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) e^{\pi \tan\phi'}, \text{Prandtl (1921)}$$

Donde:

$\phi'$ : ángulo que la envolvente de falla del esfuerzo total forma con el eje del esfuerzo normal (ángulo de fricción en  $^\circ$ ).

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{17,5^\circ}{2} \right) e^{\pi \tan(17,5^\circ)}$$

$$N_q = 5,008$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi', \text{Reissner (1924)}$$

$$N_c = (5,008 - 1) \cot (17,5^\circ)$$

$$N_c = 12,713$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi', \text{Caquot y Kerisel (1953) y Vesic (1973)}$$

$$N_\gamma = 2(5,008 + 1) \tan (17,5^\circ)$$

$$N_\gamma = 3,789$$

Los resultados de los factores de forma, profundidad e inclinación de carga se encuentran en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Factores de forma, profundidad e inclinación de carga para el tanque de almacenamiento, desarenador y cruce aéreo.*

MEYERHOF						
TANQUE DE ALMACENAMIENTO		DESARENADOR		CIMENTACIÓN CRUCE AÉREO		Unidad
Datos		Datos		Datos		
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	Parámetro	Valor	
c	4000	c	4000	c	4000	kg/m <sup>2</sup>
Ø	17,5	Ø	17,5	Ø	17,5	°
γ	1662	γ	1662	γ	1662	Kg/m <sup>3</sup>
Df	4	Df	1,85	Df	1,5	m
B	4,5	B	1	B	1	m
L	7	L	4,8	L	1,5	m
Nq	5,008	Nq	5,008	Nq	5,008	-
Nc	12,713	Nc	12,713	Nc	12,713	-
Nγ	3,789	Nγ	3,789	Nγ	3,789	-
Factores de forma		Factores de forma		Factores de forma		-
L > B	CUMPLE	L > B	CUMPLE	L > B	CUMPLE	-
Fcs	1,253	Fcs	1,082	Fcs	1,263	-
Fqs	1,203	Fqs	1,066	Fqs	1,210	-
Fys	0,743	Fys	0,917	Fys	0,733	-
Factores de profundidad		Factores de profundidad		Factores de profundidad		-
Df/ B ≤ 1	CUMPLE	Df/ B > 1	CUMPLE	Df/ B > 1	CUMPLE	-
Fcd	1,637	Fcd	0,795	Fcd	1,051	-
Fqd	1,510	Fqd	0,836	Fqd	1,041	-
Fyd	1,000	Fyd	1,000	Fyd	1,000	-
Factores de inclinación		Factores de inclinación		Factores de inclinación		-
β	0	β	0	β	0	°
Fci	1,000	Fci	1,000	Fci	1,000	-
Fqi	1,000	Fqi	1,000	Fqi	1,000	-
Fyi	1,000	Fyi	1,000	Fyi	1,000	-

Elaborado por: Los autores.

Cálculo del esfuerzo: efectivo, último de carga y admisible para el tanque de almacenamiento:

Esfuerzo efectivo:

$$q = \gamma D_f$$

$$q = 1662 * 4$$

$$q = 6648 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo último de carga:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = 400 * 12,713 * 1,253 * 1,637 * 1 + 6648 * 5,008 * 1,203 * 1,510 * 1 + 0,5 * 1662 * 4,5 * 3,789 * 0,743 * 1 * 1$$

$$q_u = 175319 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo admisible:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{175319}{3}$$

$$q_{adm} = 58439,679 \frac{kg}{m^2}$$

$$q_{adm} = 5,84 \frac{kg}{cm^2}$$

Cálculo del esfuerzo: efectivo, último de carga y admisible para el desarenador:

Esfuerzo efectivo:

$$q = \gamma D_f$$

$$q = 1662 * 1,85$$

$$q = 3074,7 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo último de carga:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = 400 * 12,713 * 1,082 * 0,795 * 1 + 3074,7 * 5,008 * 1,066 * 0,836 * 1 + 0,5 * 166$$

$$* 1 * 3,789 * 0,917 * 1 * 1$$

$$q_u = 60319,5 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo admisible:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{60319,5}{3}$$

$$q_{adm} = 20106,486 \frac{kg}{m^2}$$

$$q_{adm} = 2,01 \frac{kg}{cm^2}$$

Cálculo del esfuerzo: efectivo, último de carga y admisible para la cimentación del cruce aéreo:

Esfuerzo efectivo:

$$q = \gamma D_f$$

$$q = 1662 * 1,5$$

$$q = 2493 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo último de carga:

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i}$$

$$q_u = 400 * 12,713 * 1,263 * 1,051 * 1 + 2493 * 5,008 * 1,210 * 1,041 * 1 + 0,5 * 1662$$

$$* 3,789 * 0,733 * 1 * 1$$



$$q_u = 85506,5 \frac{kg}{m^2}$$

Esfuerzo admisible:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{85506,5}{3}$$

$$q_{adm} = 28502,163 \frac{kg}{m^2}$$

$$q_{adm} = 2,850 \frac{kg}{cm^2}$$

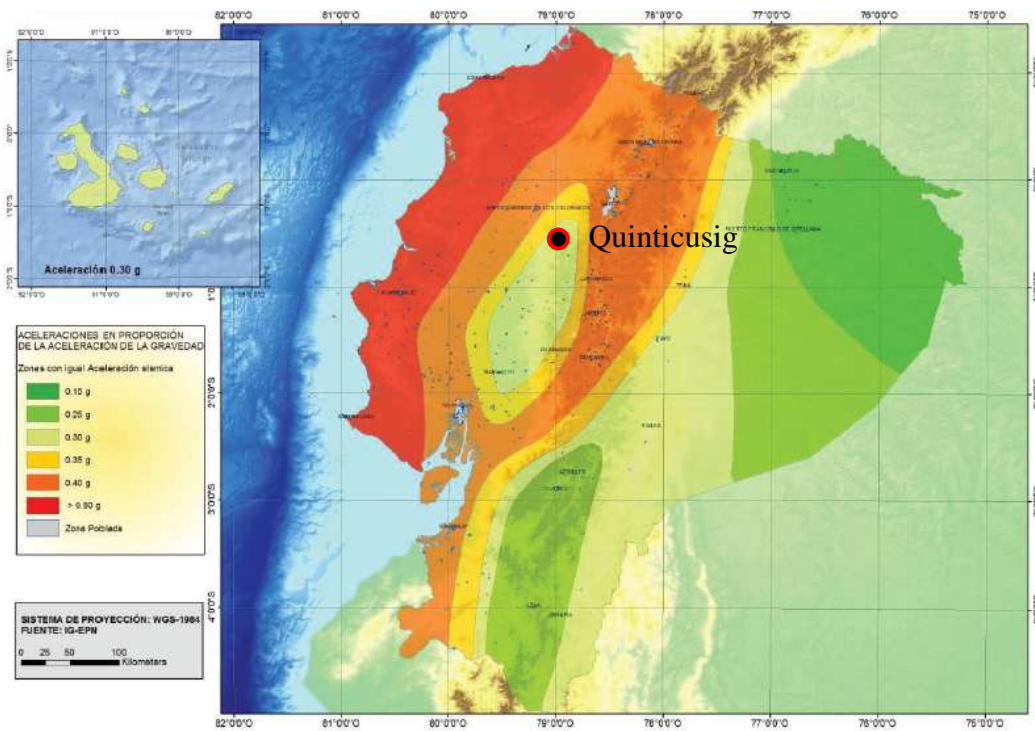
### 3.9. Riesgo sísmico

La norma (NEC-SE-DS , 2015) establece el mapa de zonificación sísmica para todo el territorio ecuatoriano, indicando que las estructuras de uso normal deben diseñarse con un periodo de retorno de 475 años.

Quinticusig se ubica en la cuarta zona sísmica con peligro sísmico alto como se indica señalada en la figura siguiente:

**Figura 40**

*Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del facto de zona Z.*



Fuente: (NEC - SE - DS , 2015).

La geología local representativa de la zona corresponde a un suelo tipo E de acuerdo a la descripción en la Tabla 2. Clasificación de los perfiles del suelo de la norma (NEC-SE-DS , 2015).

Los autores Larriva & Muñoz mencionan, que la velocidad de onda de corte característica de suelos areno limosos no supera los 208,61 m/s (Estudio de las velocidades sísmicas de un suelo areno limoso, con diferentes grados de compactación y humedad mediante equipo sísmico, 2018, pág. 90).

**Tabla 35**

*Caracterización sísmica de Quinticusig.*

Parámetro	Valor
Zonificación sísmica	IV
Región del Ecuador	Sierra
Tipo de Suelo	E

Elaborado por: Los autores.

### **3.10. Hidrometría**

El estudio hidrométrico es esencial para el pre diseño de obras hidráulicas, permite corroborar la existencia de caudal necesario para abastecer a la población, o evidenciar el déficit hídrico de la fuente.

Los dos sitios de interés para realizar aforamientos, de acuerdo a la configuración del sistema son: en la confluencia de los caudales provenientes del afloramiento “Dos Piedras” y “Yacubiana” y la captación superficial en “Dos Piedras”.

#### **3.10.1. Método volumétrico.**

Este método es práctico y accesible para afloramientos, consiste en tomar el tiempo que se demora en llenar un recipiente de dimensiones conocidas, posterior a esto con un cálculo matemático sencillo se determina el caudal como se muestra a continuación (Hidalgo, 2017):

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

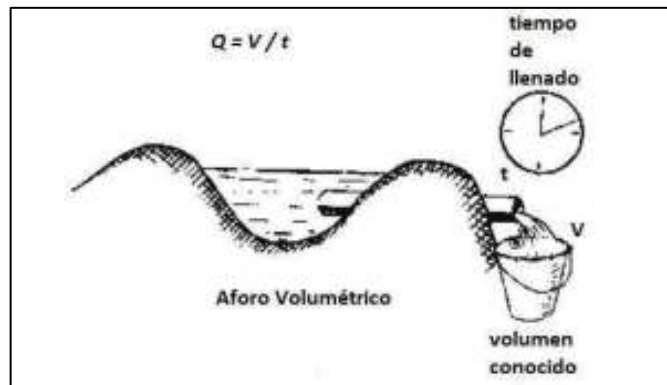
Q: Caudal calculado (l/s).

V: Volumen del recipiente conocido (l).

t: Tiempo de llenado del recipiente (s).

## Figura 41

### *Aforo volumétrico*



Fuente: (Hidalgo, 2017, pág. 49).

Las herramientas utilizadas para el aforo volumétrico son las siguientes: cronómetro, flexómetro, libreta de apuntes, balde de 5 l y tubería PVC.

El caudal fue aforado en diferentes días de cada mes, en algunos casos se pudo realizar las mediciones a diferente hora del mismo día. Se determinó un caudal promedio a partir de 5 tomas de muestra para tener información confiable que minimice el error humano entre cada medición, el caudal promedio, máximo y mínimo obtenido en la confluencia de afloramientos y en la captación superficial de “Dos Piedras”, se indica en la tabla 36 y tabla 37.

**Tabla 36***Resumen del aforo en la confluencia de caudales.*

Ubicación: confluencia de afloramientos			
Fecha	Caudal de Yacubiana (l/s)	Caudal de Dos Piedras (l/s)	Suma de caudales (l/s)
<b>27/06/2020</b>	1,006	1,580	2,59
<b>28/06/2020</b>	0,984	1,357	2,34
<b>30/06/2020</b>	0,952	1,633	2,59
<b>30/06/2020</b>	0,929	1,693	2,62
<b>1/07/2020</b>	1,176	1,477	2,65
<b>1/07/2020</b>	0,904	1,158	2,06
<b>2/07/2020</b>	0,904	1,396	2,09
<b>27/08/2020</b>	0,694	1,606	2,31
<b>27/08/2020</b>	0,706	1,795	2,50
<b>Caudal máximo (l/s)</b>	1,18	1,80	2,65
<b>Caudal mínimo (l/s)</b>	0,69	1,16	2,06
<b>Caudal promedio (l/s)</b>	0,62	1,52	2,42

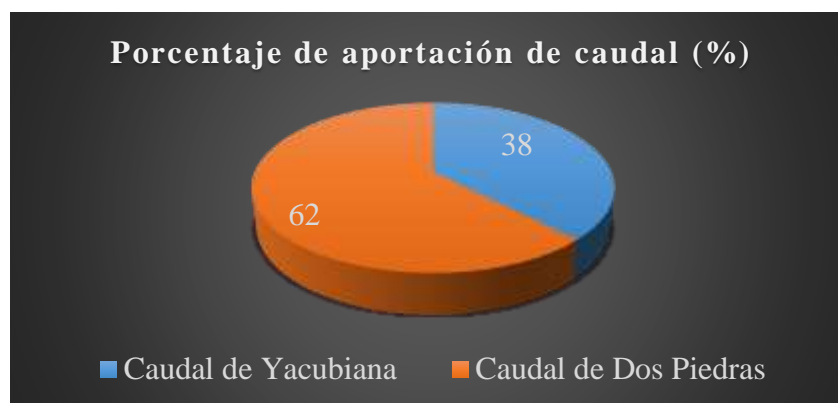
Elaborado por: Los autores.

De los resultados se desprende que el afloramiento de “Yacubiana” aporta con el 38 % de caudal, mientras que el afloramiento de “Dos Piedras” aporta con el 62 %, con estos datos se ratifica que la fuente principal que abastece el sistema de conducción es “Dos Piedras”, sin embargo, la aportación de los dos afloramientos no es suficiente para satisfacer la demanda actual de los usuarios con un caudal máximo diario de 3,281 l/s.

Es importante mencionar que las mediciones de caudales se realizaron durante los meses de verano.

**Figura 42.**

*Porcentaje de aportación en la confluencia de caudales*



Elaborado por: Los autores.

**Tabla 37**

*Resumen del aforo en "Dos Piedras".*

Ubicación: captación superficial en "Dos Piedras"			
Fecha	Caudal del tanque averiado (l/s)	Caudal del afloramiento (l/s)	Suma de caudales (l/s)
30/6/2020	1,59	0,51	2,10
1/7/2020	1,18	0,45	1,63
27/8/2020	1,03	0,44	1,47
		Caudal máximo (l/s)	2,10
		Caudal mínimo (l/s)	1,47
		Caudal promedio (l/s)	1,73

Elaborado por: Los autores.

El caudal en la captación "Dos Piedras", también se obtuvo por el método volumétrico, resultando así un caudal promedio de 1,73 l/s, es superior al caudal promedio obtenido en el sitio de confluencia con un valor de 1,522 l/s, esta diferencia se da por las pérdidas de caudal que existen en este tramo de la línea de aducción.

En el Anexo F se indica el registro de todas las mediciones realizadas.

## CAPÍTULO IV

### ESTUDIO DE PRE FACTIBILIDAD

#### 4.1. Obras de captación

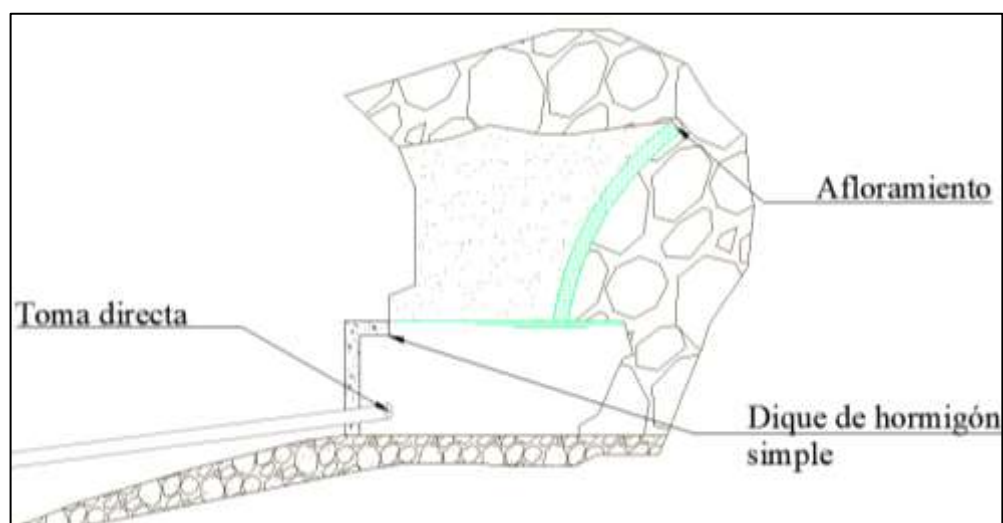
Se denomina obra de captación al primer elemento de cualquier sistema de abastecimiento de agua, esta estructura se coloca directamente sobre fuentes superficiales o fuentes subterráneas. En este tipo de estructura es importante identificar las características y necesidades de la población en la actualidad y lo que requerirán a futuro, con el fin de evitar el desabastecimiento de agua en etapas constructivas (Jímenez, 2013, pág. 60).

##### 4.1.1. Captaciones directas.

Las captaciones directas son útiles en pequeños ríos o manantiales que no arrastran materiales o sedimentos durante gran parte del año, consisten en colocar un tubo con rejilla orientado en la dirección del flujo en la fuente.

#### Figura 43.

*Captación directa.*



Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.2. Criterios de diseño.**

Las (Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes) en el numeral 5.1 realiza recomendaciones a seguir como: la entrega de agua a la línea de aducción no debe contener aire, las pérdidas de carga que se generen sean lo más pequeñas posibles, protección del sistema contra el ingreso de sedimentos gruesos o cuerpos flotantes (SENAGUA, 2014).

El tipo de captación a diseñar obedece a la de una fuente de agua, tipo manantial de ladera y concentrado, adicional a esto, el sistema a utilizar será por gravedad ya que existe suficiente desnivel entre la cota de salida (captación) y la cota de llegada (tanque de almacenamiento); y no requiere de fuerzas adicionales para impulsar el agua por la línea de aducción.

##### ***4.1.2.1. Localización de la captación.***

La captación estará ubicada en un tramo recto en la quebrada en el punto denominado “BM 5” establecido en el estudio topográfico del proyecto a 3277,477 m.s.n.m.; con el fin de evitar posibles afectaciones por deslizamientos de rocas y por inspecciones de campo realizadas, se determinó que el margen izquierdo es más estable, la captación se colocará en este margen de la vertiente.

##### ***4.1.2.2. Caudal de diseño.***

En el capítulo III se estableció que el caudal de diseño para obras de captación considera un incremento del 20% del caudal máximo diario determinado para la población proyectada. (SENAGUA, 2014)

$$Q_{dis} = Q_{MD} + 20\%$$

$$Q_{dis} = 3,281 \frac{l}{s} + 20\%$$

$$Q_{dis} = 3,938 \text{ l/s}$$



### 4.1.3. Dimensionamiento hidráulico Opción captación superficial de ladera.

El diseño hidráulico está basado en la (Guía para el Diseño y Construcción de Captación de Manantiales, 2004) por el autor Agüero R., planteado en la bibliografía, el cual establece una serie de lineamientos a cumplir por la captación detallados a continuación:

#### 4.1.3.1. Distancia entre el afloramiento y la cámara húmeda.

$$h_o = \frac{V_1^2}{2g}$$

$$V_1 = \frac{V_2}{C_d}$$

$$H_f = H - h_o$$

$$L = \frac{H_f}{0,30}$$

Donde:

$V_1$ : velocidad teórica del flujo del Afloramiento (m/s)

$V_2$ : velocidad de pase desde el Afloramiento se adopta (0,6).

$g$ : aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>)

$h_o$ : carga sobre el orificio de entrada (m).

$C_d$ : coeficiente de descarga se adopta (0,8).

$H_f$ : pérdida de carga (m).

$H$ : altura desde el afloramiento (m).

$L$ : distancia entre el Afloramiento y la Cámara húmeda (m).

#### **4.1.3.2. Ancho de Pantalla.**

$$A = \frac{Q_{dis}}{Cd * V_2}$$

$$N = \left(\frac{Dc}{Da}\right)^2 + 1$$

$$b = 2 * 6 * Da + (N * Da) + ((N - 1) * 3 * Da)$$

Donde:

Q<sub>dis</sub>: caudal de diseño de la captación (m<sup>3</sup>/s).

N: número de orificios.

D<sub>c</sub>: diámetro calculado del orificio (m).

D<sub>a</sub>: diámetro asumido del orificio (m).

b: ancho de pantalla (m).

#### **4.1.3.3. Altura de la cámara húmeda.**

El autor recomienda que la altura de sedimentación de arenas sea de 10 cm, la altura mínima de agua sobre la canastilla de 30 cm, el desnivel afloramiento - cámara húmeda mínimo de 5 cm y el borde libre mínimo de 30 cm. (Agüero, 2004, pág. 13)

$$Ht = A + B + H + D + E$$

Donde:

A: altura de sedimentación (m).

B: diámetro de la tubería de salida (m).

H: altura de agua sobre la canastilla (m).

D: desnivel afloramiento - cámara húmeda (m).

E: borde libre (m).

Ht: altura de la cámara húmeda (m).

#### ***4.1.3.4. Dimensionamiento de la Canastilla.***

$$Dc = 2 * Ds$$

$$At = 2 * As$$

$$3 Ds \leq Lc \leq 6Ds$$

$$Nr = \frac{Ar}{At} + 1$$

Donde:

Ds: diámetro de la tubería de salida (m).

Dc: diámetro de la canastilla (m).

Lc: longitud de la canastilla (m).

Ar: área de la ranura (m<sup>2</sup>).

At: área total de ranuras (m<sup>2</sup>).

Nr: número de ranuras en la canastilla.

#### ***4.1.3.5. Tubería de Rebose y limpieza.***

$$Dr = \frac{0.71 * Q_{dis}^{0.38}}{J^{0.21}}$$

Donde:

Qdis: caudal de diseño de la captación (m<sup>3</sup>/s).

J: pérdidas de carga unitaria (m/m).

Dr: diámetro de la tubería de rebose y limpieza (m).

La tabla 38 indica los valores determinados para la opción de captación superficial de ladera.

**Tabla 38**

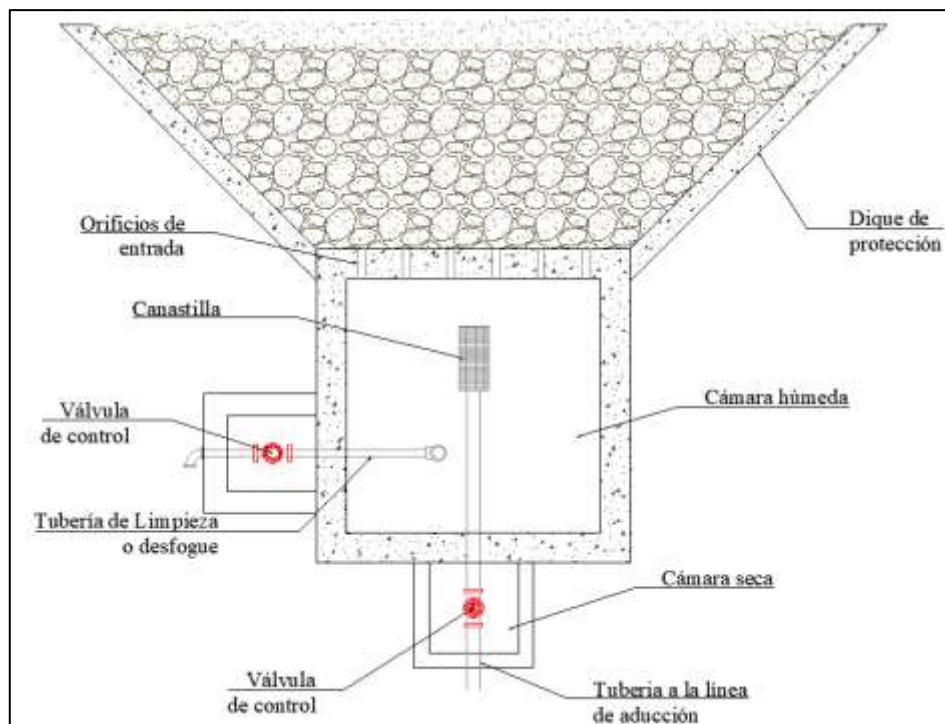
*Parámetros del diseño hidráulico para la opción 1.*

Parámetros	Valor	Unidad
Distancia entre el afloramiento y cámara húmeda	1.6	m
Número de orificios asumidos	6.0	u
Ancho de pantalla	1.7	m
Diámetro del orificio asumido	50	mm
Diámetro de la tubería de salida	90	mm
Diámetro de la canastilla	200	mm
Longitud de la canastilla asumida	0.43	m
Número de ranuras asumido	365.0	u
Diámetro de tubería de rebose recomendado	50.0	mm

Elaborado por: Los autores.

**Figura 44**

*Captación superficial de ladera.*



Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.4. Dimensionamiento hidráulico opción captación de doble cámara con vertedero.**

##### ***4.1.4.1. Dimensionamiento de la tubería de conexión con la cámara de almacenamiento.***

En este caso se debe suponer un coeficiente de fricción utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach para determinar un diámetro y con la ecuación de Reynolds hallar una rugosidad relativa, con estos nuevos valores de Reynolds y rugosidad relativa se entra al diagrama de Moody para determinar un nuevo coeficiente de fricción; Según (Streeter, 2000) este proceso se debe repetir hasta que el coeficiente de fricción no cambien en sus dos primeras cifras significativas (pág. 305).

$$hf = f * \left( \frac{L * V^2}{D * 2 * g} \right)$$

$$D^2 = f * \left( \frac{8 * L * Q^2}{hf * g * \pi^2} \right)$$

$$R = \frac{4 * Q}{\pi * v * D}$$

Donde:

hf: pérdidas por fricción (m).

f: coeficiente de fricción en función del material.

L: longitud de la tubería (m).

V: velocidad en la tubería (m/s).

D: diámetro de la tubería (m).

g: aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

Q: caudal del afloramiento (m<sup>3</sup>/s).

R: número de Reynolds.

v: viscosidad cinemática del agua a 10° C.

**Tabla 39**

*Parámetros de la fuente "Dos Piedra".*

Parámetro	Valor		Unidad
	Caudal mínimo	Caudal máximo	
Caudales de diseño	0.00147	0.00210	m <sup>3</sup> /s
Longitud a la captación	5.71	5.71	m
Cota del afloramiento		3278.477	m.s.n.m
Cota del tanque		3277.477	m.s.n.m
Pérdida de carga unitaria		0.175	m/m

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 40**

*Iteraciones realizadas para determinar el diámetro de la tubería.*

Caudal mínimo				
Iteración	Factor de fricción adoptado	Diámetro calculado	Reynolds calculado	Rugosidad absoluta (ε)
1	0.0200	0.041	34822.947	3.65E-05
2	0.0227	0.042	33952.077	3.56E-05
3	0.0229	0.042	33892.564	3.5566E-05
4	0.0229	0.042	33892.564	3.5566E-05
Caudal máximo				
Iteración	Factor de fricción adoptado	Diámetro calculado	Reynolds calculado	Rugosidad absoluta (ε)
1	0.0200	0.047	43127.991	3.169E-05
2	0.0217	0.048	42430.024	3.117E-05
3	0.0217	0.048	42430.024	3.117E-05

Elaborado por: Los autores.

El diámetro calculado tanto para caudal máximo como para caudal mínimo no supera los 48 mm, se adopta un diámetro comercial de 50 mm en la tubería de conexión hacia la cámara de almacenamiento de la captación.

#### ***4.1.4.2. Dimensionamiento de la cámara de embalsamiento.***

Con el caudal mínimo de la fuente obtenido mediante hidrometría se determinó que la fuente es capaz de otorgar un volumen mínimo de regulación de 63,53 m<sup>3</sup> siguiendo las reconvenções dadas por la (SENAGUA, 2014).

$$V_{reg} = \frac{(Q_{min} * 0,5) * 86400}{1000}$$

$$Q_{reg} = \frac{(1,47 * 0,5) * 86400}{1000}$$

$$Q_{reg} = 63.53 \text{ m}^3$$

##### *4.1.4.2.1. Altura de la cámara de embalsamiento.*

$$Ht = A + B + H + E$$

Donde:

A: altura de sedimentación (m).

B: altura del vertedero (m).

E: borde libre (m).

Ht: altura de la cámara de embalsamiento (m).

##### *4.1.4.2.2 Base de la cámara.*

$$B = 3 * (8 * D + 2 * D)$$

Donde:

B: base de la cámara húmeda de embalsamiento (m).

D: diámetro de la tubería de conexión con la cámara de almacenamiento (m).

#### 4.1.4.3. Dimensionamiento del vertedero hacia la cámara de derivación.

Ya que el volumen de regulación es superior al volumen de la cámara de embalsamiento, se optó por colocar un vertedero de pared delgada que descargue el caudal hacia la cámara de derivación; para el diseño de este vertedero (Sotelo, 1997) recomienda utilizar la siguiente ecuación:

$$Q_{min} = \frac{2}{3} * \sqrt{2 * g} * \mu * b * h^{3/2}$$

Donde:

$Q_{min}$ : caudal mínimo entregado por el afloramiento ( $m^3/s$ ).

$g$ : aceleración de la gravedad, se asumió el valor de  $9,81 (m/s^2)$ .

$\mu$ : coeficiente de gasto.

$b$ : ancho del vertedero (m).

$h$ : altura de la lámina de agua (m).

El coeficiente de gasto está determinado por la siguiente ecuación experimental propuesta por Rehbock en 1929.

$$\mu = \left[ 0,6035 + 0,0813 * \left( \frac{h + 0,0011}{w} \right) \right] * \left[ 1 + \frac{0,0011}{h} \right]^{3/2}$$

Donde:

$\mu$ : coeficiente de gasto.

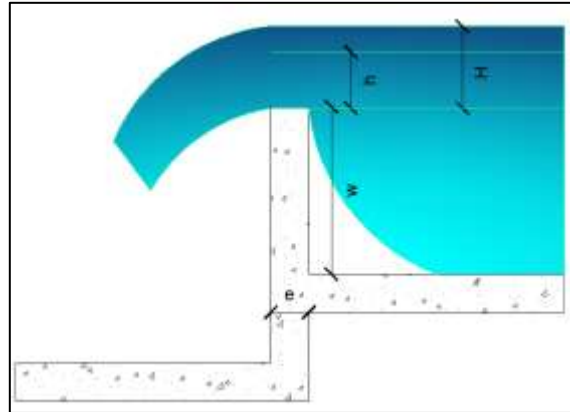
$h$ : altura de la lámina de agua (m).

$w$ : altura del vertedero (m).



**Figura 45**

*Vertedero de pared delgada en la captación.*



Elaborado por: Los autores.

**4.1.4.3. Altura de la cámara de derivación.**

$$Ht = A + B + H + E$$

Donde:

A: altura de sedimentación (m).

B: diámetro de la tubería de salida (m).

H: altura de agua sobre la canastilla (m).

E: borde libre (m).

Ht: altura de la cámara húmeda (m).

**4.1.4.4. Tubería de rebose y limpieza.**

$$Dr = \frac{0.71 * Q_{min}^{0.38}}{J^{0.21}}$$

Donde:

$Q_{min}$ : caudal de diseño de la captación ( $m^3/s$ ).

J: pérdidas de carga unitaria (m/m).

Dr: diámetro de la tubería de rebose y limpieza (m).

**Tabla 41**

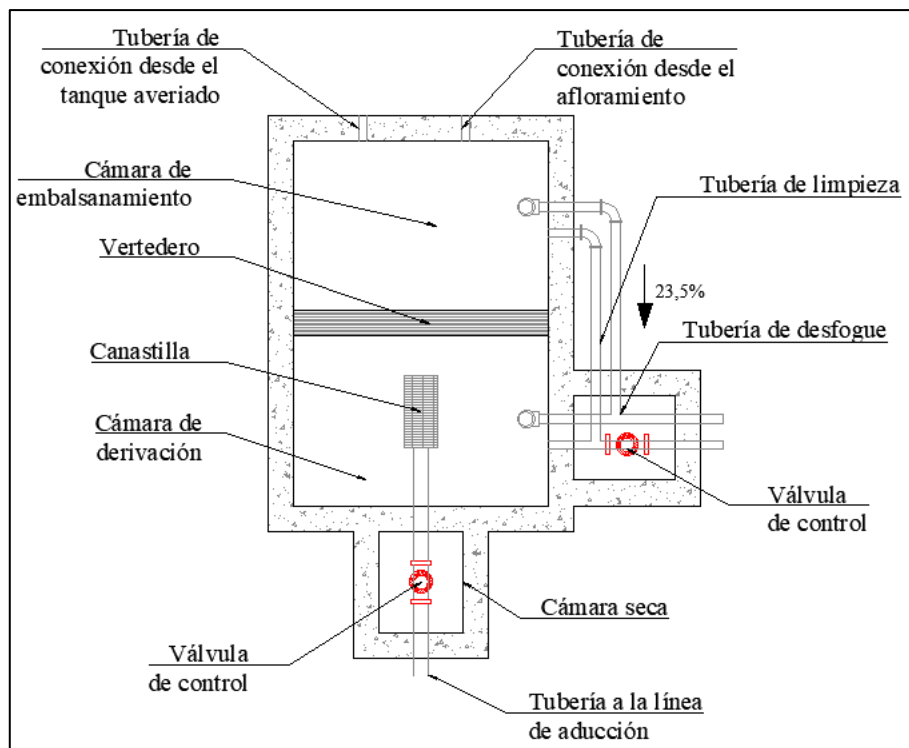
*Parámetros determinados para la opción captación de doble cámara con vertedero.*

Parámetro	Valor	Unidad
Número de tuberías de conexión	2.0	u
Diámetro de la tubería de conexión	50.0	mm
Altura de cámara de almacenamiento	1.00	m
Altura de la cámara de derivación	1.35	m
Base de la captación	1.50	m
Desnivel entre la cámara de almacenamiento y la cámara de derivación	0.35	m
Espesor del vertedero	0.15	m
Altura del Vertedero	0.65	m
Diámetro de la tubería de rebose y limpieza	50.0	mm

Elaborado por: Los autores.

**Figura 46**

*Captación de doble cámara con vertedero.*



Elaborado por: Los autores.

#### 4.1.5. Alternativa seleccionada para la captación.

Se selecciona la alternativa 2, este tipo de captación se adapta a las modificaciones realizadas por la comunidad en ambos afloramientos, permite suministrar el caudal de diseño en cualquier época del año; cuenta con una doble cámara donde la primera es utilizada como embalsamiento y la segunda es utilizada como derivación; los desniveles existentes entre ambas cámaras se ajustan en el sitio de implantación, puesto que aguas abajo desde el afloramiento existen pequeños escalones con una diferencia de nivel entre 30 a 50 cm.

##### 4.1.5.1. Cotas en la captación.

Las cotas de la captación toman como referencia el punto BM 5 ubicado a 3277,477 m.s.n.m en la tabla mostrada a continuación se muestran las cotas de los diferentes elementos de la captación.

**Tabla 42**

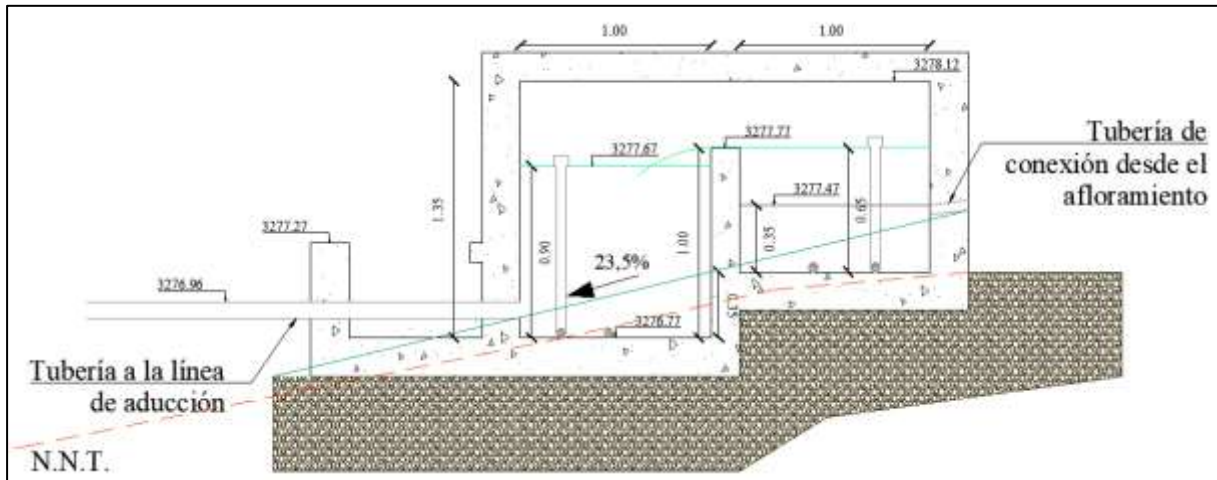
*Cota presentes en la alternativa 2 de la captación.*

Cota	(m.s.n.m.)
Nivel de la tubería de conexión con el afloramiento	3277,47
Cota de fondo la cámara de almacenamiento	3277,12
Cota de la lámina de agua en la cámara de almacenamiento	3277,78
Cota de fondo de la cámara de derivación	3276,77
Cota de la lámina de agua en la cámara de derivación	3277,67
Nivel de la tubería de salida a la línea de conducción	3276,96
Cota clave de la tubería de desagüe de la cámara de almacenamiento	3276,96
Cota clave de la tubería de desagüe de la cámara de derivación	3277,12
Cota de la cresta del vertedero hacia la cámara de derivación	3276,77
Cota de la altura de la captación	3278,12

Elaborado por: Los autores.

**Figura 47.**

*Vista transversal. Captación de doble cámara con vertedero.*



Elaborado por: Los autores.

#### **4.1.6. Diseño estructural.**

El diseño estructural de la captación se realizó aplicando el método de las secciones y siguiendo los lineamientos de la norma (ACI 350.3-01, 2007), las fuerzas que actúan sobre la captación son: la carga muerta, la presión de tierras y la presión hidrostática, se utilizó las siguientes combinaciones de carga para analizar dos estados de carga sobre la captación.

$$U = 1,4(D + F)$$

$$U = 1,2(D + F) + 1,6(L + H)$$

Donde:

D: Carga muerta.

L: Carga viva.

F: Carga por fluidos.

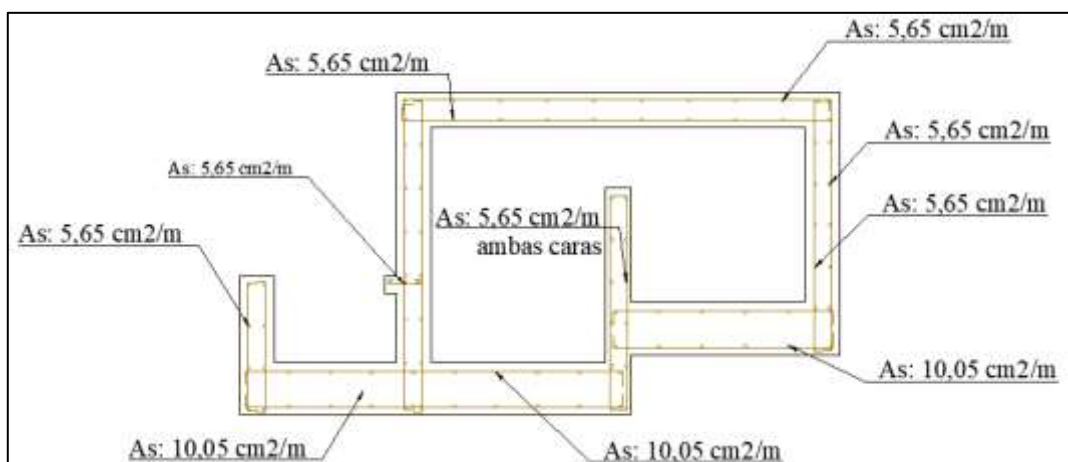
H: Carga producida por el suelo.

El acero en la estructura, se calculó utilizando el diseño por flexión y verificado a corte, considerando los momentos y fuerzas cortantes determinadas con la ayuda del software Ftool, La memoria de cálculo de presenta en el Anexo H.

La figura 22 indica la cantidad de acero colocado en la estructura tanto en los muros, como en la losa superior y la losa inferior.

### Figura 48

*Cantidad de acero colocado en la captación.*



Elaborado por: Los autores.

## 4.2. Línea de Aducción

La línea de aducción es el componente del sistema que transporta agua cruda desde la fuente de abastecimiento hasta el tanque de almacenamiento.

Debido a que la ubicación en elevación de la fuente de abastecimiento es mayor respecto al tanque de almacenamiento, la conducción se efectuará por gravedad, con una tubería que se encuentra trabajando a presión, debido que la línea piezométrica supera los niveles de la tubería.

#### **4.2.1. Criterios de diseño.**

##### ***4.2.1.1. Caudal de diseño.***

En el capítulo III se mencionó que el caudal de diseño para la línea de aducción considera un incremento del 10% del caudal máximo diario determinado para la población proyectada. (SENAGUA, 2014)

$$Q_{dis} = Q_{MD} + 10\%$$

$$Q_{dis} = 3,281 \frac{l}{s} + 10\%$$

$$Q_{dis} = 3,609 \text{ l/s}$$

##### ***4.2.1.2. Velocidades admisibles.***

La Secretaria Nacional del Agua recomienda que la velocidad con el que se transporta el flujo en las tuberías de material PVC debe obedecer un rango de velocidades de 0,60 m/s a 4,5 m/s, con el fin de evitar acumulación de sedimentos y abrasión.

##### ***4.2.1.3. Presiones admisibles.***

Para evitar la sobrepresión en la tubería, la línea de aducción tiene que trabajar con una presión diseño inferior a la presión de trabajo.

La presión de trabajo depende del material que constituye la tubería empleada; la línea de aducción utilizará tubería PVC con un rango de presión de trabajo entre (0,5 a 1,25) Mpa, que depende del espesor nominal del tubo; las especificaciones técnicas del material empleado están en el Anexo I.

El (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS): TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed., 2010), establece que la presión de diseño será el máximo valor calculado entre la presión estática y la máxima sobrepresión ocasionada por el

golpe de ariete, multiplicada por un factor de seguridad de 1,1 que corresponde a líneas de aducción a gravedad.

$$P_{dis} = 1,1 * (P_{est}, P_{sobpresión})$$

Este valor calculado no puede sobrepasar la presión de trabajo de la tubería.

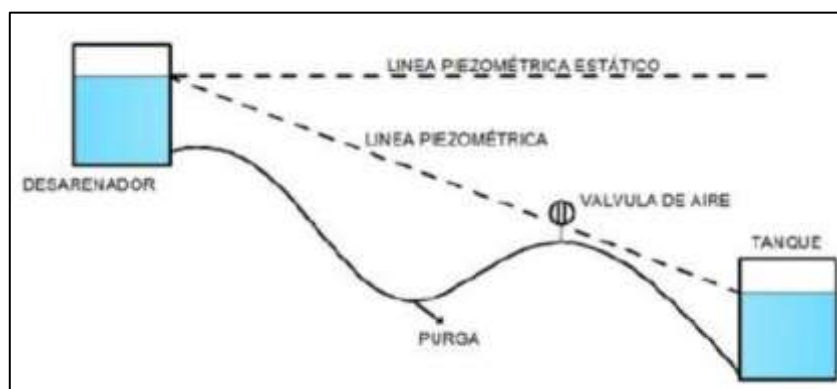
#### **4.2.1.4. Línea piezométrica.**

La línea piezométrica o línea de gradiente hidráulico representa la altura de presión hidrostática respecto al plano del proyecto en cada cota de la línea de aducción.

El trazado de la línea de aducción debe estar por debajo del nivel de la línea piezométrica, eso ayudará a evitar tramos de depresión que provocarían aplastamiento y cavitación en la tubería (Morales, 2015).

### **Figura 49**

*Tubería por debajo de la línea piezométrica.*



Fuente: (Abastecimiento de agua para comunidades rurales, pág. 55).

#### **4.2.1.5. Componentes de la línea de aducción.**

##### **4.2.1.5.1. Alternativas de tipo de tubería.**

El material de la tubería incide en el costo final del proyecto al ser uno de los rubros más importantes por la cantidad a ejecutarse e influye en el buen funcionamiento hidráulico del sistema.

Se empleó el método de Hazen Williams recomendado por la norma (SENAGUA, 2014), este método depende de la rugosidad del material con el que ha sido elaborada la tubería, esto se traduce en una variación del coeficiente de rugosidad de Chow para cada tipo de material.

En la tabla 43 se resumen los valores asignados al coeficiente de Chow descritos por el autor (López, 2003), para distintos tipos de materiales cuando estos son nuevos y cuando ya han sido usados.

**Tabla 43**

*Variación del coeficiente de Chow en el tiempo.*

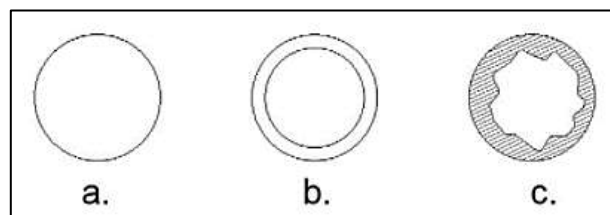
Tipo de material	Coeficiente de Chow	
	Material nuevo	Material usado
Acero remachado	110	85
Asbesto - cemento	140	140
PVC	140	140
Hormigón liso	130	130
Hierro fundido nuevo	130	90 - 100

Fuente: (López, 2003).

Otro aspecto a considerar es el paso del tiempo, pues muchos materiales sufren un aumento gradual de la rugosidad, generando una disminución en el valor del coeficiente de rugosidad de Chow, esta variación puede ser causada por incrustaciones y/o corrosión en la tubería, como se señala en la siguiente figura.

**Figura 50**

*Modificación del coeficiente de rugosidad. (a). Tubería original; (b) Incrustaciones; (c). Corrosión.*



Elaborado por: Los autores con información tomada de (López, 2003).



En el diseño se optó por utilizar tuberías de PVC con diámetros comerciales cuya longitud máxima es de 6 m; este tipo de material presenta buenas características de trabajo:

- Su coeficiente de Chow no varía en el tiempo.
- Es dúctil y resistente frente a cargas externas.
- No es un material corrosivo.
- Su instalación no requiere equipos especializados.

La tubería que conforma el trazado de la línea de aducción se encuentra enterrada a una profundidad de 0,80 m, superior a la profundidad mínima recomendada por la (SENAGUA, 2014).

#### *4.2.1.5.2. Accesorios.*

Este tipo de dispositivos aseguran el buen funcionamiento en la conducción por variaciones de presiones y pendientes que se dan a lo largo del trayecto de la línea de aducción.

Para la selección de codos se utilizó como referencia la tabla 44 descrita en el libro (Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados), a partir de la suma o diferencia de pendientes determinadas en el perfil del proyecto se estima el tipo de codo; en cambios de pendientes inferiores al 14 % se trabaja con la deflexión propia del material.

#### **Tabla 44**

*Selección del codo en función de la suma o diferencia de pendientes.*

Suma o Diferencia de pendientes (%)	Codo (°)
14 – 30	11.25
31 – 53	22.5
54 – 83	33.75
84 – 119	45
120 – 180	56.25

Fuente: (López, 2003, pág. 224).

Se utilizó uniones para conectar todas las tuberías hasta alcanzar la distancia existen entre cada tramo de la línea de conducción y no reciben ni aporta caudal al exterior.

Las válvulas de corte se encuentran localizadas al inicio y al final de la línea de aducción, es importante realizar un análisis del golpe de ariete que se presenta en el tramo final.

#### **4.2.2. Diseño de la línea de aducción.**

La línea de aducción se diseñó bajo el criterio de Hazen-Williams y con la consideración que la tubería trabaja con un régimen uniforme. En este método se requiere el cálculo de las pérdidas de carga unitaria en cada tramo.

Los cálculos se realizaron con la ayuda de la herramienta Excel, los cuales se encuentran resumidos en el Anexo J.

##### **4.2.2.1 Presiones de diseño.**

La presión estática entre la captación y el desarenador es de 307,40 mH<sub>2</sub>O, debido a esto, fue necesario dividir la tubería de la línea de aducción en 6 tramos, en donde la presión de diseño no supera la presión de trabajo de la tubería propuesta, las especificaciones técnicas de la tubería se encuentran detalladas en el Anexo I.

La sobrepresión máxima se encuentra en el tramo 6 con un valor de 84,81 mH<sub>2</sub>O correspondiente al uso de una válvula de corte situada antes del ingreso al desarenador.

$$P_{dis} = 1,1 * (84,81)$$

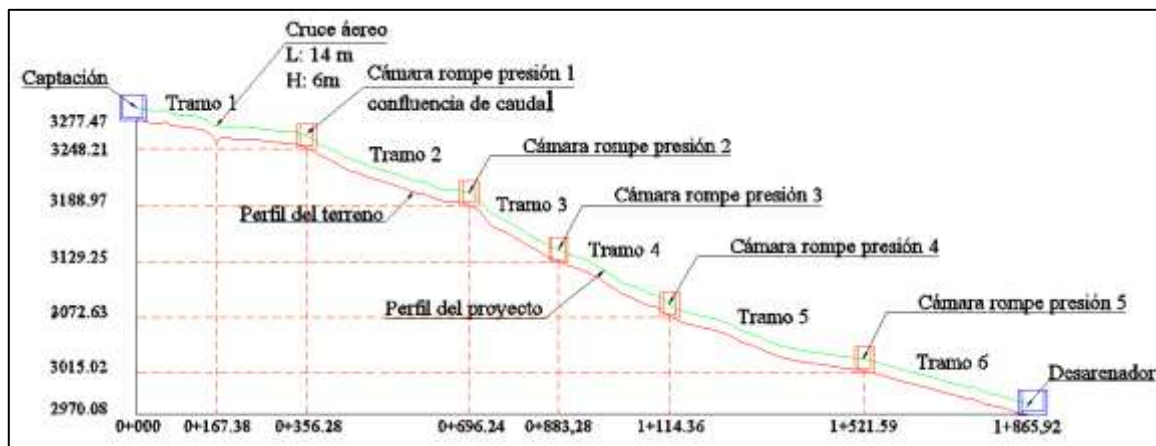
$$P_{dis} = 93,19 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$P_{dis} < P_{trabajo}$$

$$93,19 \text{ mH}_2\text{O} < 100 \text{ mH}_2\text{O OK}$$

**Figura 51**

*Esquema del perfil de la línea de aducción.*



Elaborado por: Los autores.

La presión máxima estática existente en cada tramo se muestra en la tabla 45.

**Tabla 45**

*Presiones máximas para cada tramo en la línea de aducción.*

Tramo	Ubicación	Inicial (m.s.n.m.)	Final (m.s.n.m.)	Presión (mH <sub>2</sub> O)	Presión (MPa)
1	BM5 P76 (Y)	3277,477	3248,216	32,19	0,315
2	P76 (Y) P59	3248,216	3188,976	65,16	0,640
3	P59 P44	3188,976	3129,253	65,70	0,644
4	P44 P29	3129,253	3072,631	62,3	0,610
5	P29 P12	3072,631	3015,022	63,37	0,620
6	P12 P3''	3015,022	2970,080	49,44	0,480

Elaborado por: Los autores.

El perfil longitudinal y la implantación del proyecto se muestra en el plano 2 y 3.

#### **4.2.2.2. Pérdida de carga local.**

Obedece las pérdidas que originan los accesorios colocados en cada tramo de tubería.

Para determinar las pérdidas se utilizó las fórmulas dadas en el libro (Abastecimiento de agua

para comunidades rurales, pág. 69;70). El mismo autor establece el valor que toma el coeficiente de pérdida para los diferentes accesorios.

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} = \frac{8KQ_{dis}^2}{\pi^2 g D^4}$$

Donde:

$h_L$ : pérdida de carga local (m/m).

$K$ : coeficiente de pérdida.

$V$ : velocidad (m/s).

$g$ : fuerza de gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

$Q_{dis}$ : caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

$D$ : diámetro de la tubería (m).

Para determinar las pérdidas originadas por el cambio de dirección, se utiliza la siguiente ecuación:

$$h_f = 0,25 \frac{V^2}{2g} \sqrt{\frac{\theta}{90}}$$

Donde:

$h_f$ : pérdida de carga local (m/m).

$\theta$ : coeficiente de pérdida.

$V$ : velocidad (m/s).

$g$ : aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

**Tabla 46***Coefficiente K para pérdidas menores en accesorios.*

Accesorio	k	$\theta$
Unión	0,3	
Válvulas de Compuerta tipo mariposa	5	
Perdida de entrada	0,9	
Perdida de Salida	1	
Perdidas por codos 90°		90
Perdidas por codos 45°		45
Perdidas por codos 22.5°		22,5
Perdidas por codos 11.25°		11,25

Fuente: (Morales, 2015).

Se calculó la pérdida de carga local para cada tramo, la misma se dividió en partes iguales en cada tramo respectivamente.

**Tabla 47***Pérdida de carga local por tramo de tubería.*

Tramo	Pérdida por tramo (m)
1	0.895
2	0.571
3	0.328
4	0.391
5	0.721
6	1.092

Elaborado por: Los autores.

**4.2.2.3. Pérdida de carga unitaria.**

Es la presión que se pierde por cada metro de longitud; la carga hidráulica disponible es la diferencia de cotas y la pérdida de carga local originada en cada tramo.

$$H = \text{cota inicial} - \text{cota final} - h_f (m)$$

$$J = \frac{H}{L}$$

Donde:

J: pérdida de carga unitaria (m/m).

H: carga hidráulica disponible (m).

L: longitud de la tubería (m).

#### **4.2.2.4. Diámetro de la tubería.**

La (Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural) establece que el diámetro mínimo a utilizar es de 25 mm en líneas de conducción.

Despejando la ecuación de Hazen-Williams se puede determinar el diámetro que corresponde al valor mínimo que puede ser utilizado para el diseño de la línea de aducción. Este valor se compara con el diámetro comercial con el fin de identificar el diámetro óptimo.

$$D = \left( \frac{Q_{dis}}{0,2785 * C * J^{0,54}} \right)^{1/2,63}$$

Donde:

D: diámetro de la tubería (m).

Qdis: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Chow.

J: pérdida de carga unitaria (m/m).

Se ajustan al diseño dos tamaños de diámetros comerciales, para el primer tramo se asignó un diámetro de tubería de 90 mm con un espesor nominal de 4,1 mm, mientras que para los demás tramos se asignó un diámetro de tubería de 75 mm con un espesor nominal de 3,4 mm.

#### **4.2.2.5. Velocidad.**

La velocidad se determina mediante la ecuación de continuidad.

$$Q_{dis} = V * W$$

Donde:

V: velocidad (m/s).

Qdis: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

W: sección de la tubería (m<sup>2</sup>).

La velocidad calculada en cada tramo está dentro de los límites admisibles, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 48**

*Velocidades y diámetros de diseño.*

Tramo	Q (m <sup>3</sup> /s)	D comercial (mm)	V real (m/s)	Vmin=0,45(m/s)	Vmáx=6 (m/s)
1	0,00361	90	0,6	cumple	cumple
2 a 6	0,00361	75	0,82	cumple	cumple

Elaborado por: Los autores.

#### **4.2.2.6. Cálculo de las presiones.**

Con los datos de velocidad y diámetro de diseño, se determina nuevamente las pérdidas de carga unitaria, despejando este parámetro de la ecuación de Hazen – Williams.

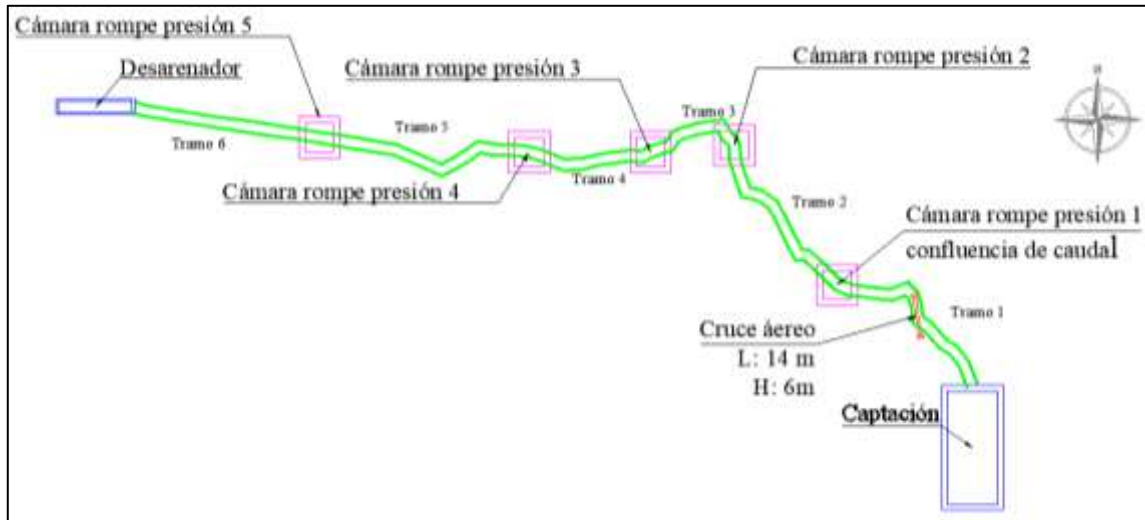
$$J = \left( \frac{Q_{dis}}{0,2785 * C * D^{2,63}} \right)^{1/0,54}$$

El valor acumulado de la pérdida unitaria es la pérdida de carga hidráulica para cada punto, al restar este valor de la cota inicial del proyecto se obtiene las cotas que conforman la línea piezométrica del sistema.

$$Cota\ piezométrica_i = Cota\ inicial_i - J_{i+1}$$

**Figura 52**

*Esquema en planta de la línea de aducción.*



Elaborado por: Los autores.

La presión calculada en cada tramo se encuentra por debajo de la presión de diseño del proyecto tal como se indica en la tabla 49.

**Tabla 49**

*Presión dinámica al finalizar el tramo.*

Tramo	Presión (mH2O)	Presión de diseño (mH2O)	Verificación
1	8.63	93.292	cumple
2	52.84	93.292	cumple
3	41.99	93.292	cumple
4	32.7	93.292	cumple
5	30.84	93.292	cumple
6	23.89	93.292	cumple

Elaborado por: Los autores.

#### **4.2.2.7. Golpe de ariete.**

El golpe de ariete se produce por la interrupción abrupta de la circulación del fluido, provocando cambios repentinos de presión y velocidad que pueden actuar de forma perjudicial para el sistema; este fenómeno puede aparecer por el cierre instantáneo de válvulas de corte o control.



El diseño por golpe de ariete se siguió los criterios establecidos en el libro (Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, págs. 231-235).

Primero se calculó la celeridad de onda dada por la ecuación de Allievi.

$$C = \frac{9.900}{\sqrt{48,3 + k * \frac{D}{e}}}$$

C: celeridad de onda (m/s).

D: diámetro de la tubería (m).

e: espesor de la pared de la tubería (m).

k: relación entre el módulo de elasticidad del agua y el material de la tubería.

Se adoptó el valor de k = 18 para material de tubería plástico PVC.

#### Tabla 50

*Relación de módulos de elasticidad del agua y del material de la tubería.*

Material de la tubería	k
Acero	0,5
Hierro fundido	1,0
Concreto	5,0
Asbesto-cemento	4,4
Plástico	18,0

Fuente: (López, 2003, pág. 234).

A continuación, se determinó la fase de la tubería con la siguiente expresión.

$$T = \frac{2 * L}{C} \quad (1)$$

Donde:

T: fase de la tubería (s).

L: longitud de la tubería (m).

C: celeridad de onda (m/s).

Después se calcula la sobrepresión que soporta la válvula con la siguiente ecuación.

$$h_a = \frac{C * V}{g}$$

Donde:

h<sub>a</sub>: sobrepresión (mH<sub>2</sub>O).

C: celeridad de onda (m/s).

V: velocidad (m/s).

g: aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

La presión estática en la válvula es la diferencia entre la cota inicial del tramo y la cota donde se localiza la válvula.

La presión total sobre la válvula es la suma de la sobrepresión y la presión estática.

En este caso la presión total en la válvula supera la presión de diseño por ende el tiempo de maniobra se determina con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{2 * L * V}{g * P_{ga}}$$

Donde:

t: tiempo de maniobra sobre la válvula (s).

P<sub>a</sub>: presión disponible para el golpe de ariete (s).

La presión disponible para golpe de ariete es el resultado de restar la presión estática sobre la válvula, de la presión de diseño.

**Tabla 51***Comprobación del golpe de ariete.*

Cálculo de la celeridad de onda			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Material PVC	k	18	u
Diámetro	Ø	75	mm
Espesor de la pared del tubo	e	3,4	mm
Celeridad de onda	C	469,12	(m/s)
Determinación del tiempo de maniobra sobre la tubería			
Parámetro	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del tramo	L	347,35	(m)
Fase de la tubería	T	1,481	(s)
Sobrepresión	Ha	39,07	(m H2O)
Presión estática sobre la válvula	Hest	45,74	(m H2O)
Presión total la válvula	Ht	84,81	(m H2O)
Verificación con la presión de diseño	$P_{dis} > H_t$	No	Cumple
Presión para golpe de ariete	Pga	3,69	(m H2O)
Tiempo de maniobra sobre la válvula	t	16,00	(s)

Elaborado por: Los autores.

De la tabla se desprende que la válvula no puede cerrarse en un tiempo inferior a 16 segundos; la sobrepresión en el escenario controlado del golpe de ariete no supera la presión de servicio de la tubería para el espesor comercial de 3.4 mm.

#### ***4.2.2.8. Diseño asistido por Software.***

El diseño hidráulico se modeló en WaterCAD10 para observar el comportamiento de la línea de aducción donde se realizó un chequeo de presiones y velocidades admisibles.

Para este análisis se utilizó el caudal de diseño de la línea de aducción de 3,609 l/s, bajo el comportamiento de un régimen permanente.

En el modelamiento se observó que la línea de aducción tiene un funcionamiento adecuado, en el Anexo K se detalla los datos ingresados y el procedimiento de análisis en el software.

Las tablas de los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 52***Resultados de la simulación en WaterCAD10.*

Nodo	Elevación (m)	Gradiente hidráulico	Presión (m H2O)	Nodo	Elevación (m)	Gradiente hidráulico	Presión (m H2O)
N94	3'273.29	3'277.31	4.01	N48	3'140.97	3'187.23	46.16
N91	3'271.71	3'277.16	5.44	N47	3'138.12	3'187.11	48.89
N90	3'269.89	3'277.08	7.18	N46	3'134.59	3'186.99	52.29
N89	3'268.88	3'276.99	8.09	N45	3'132.10	3'186.87	54.66
N88	3'266.57	3'276.90	10.31	N43	3'125.90	3'129.27	3.37
N87	3'264.81	3'276.86	12.02	N42	3'121.61	3'129.04	7.41
N86	3'261.40	3'276.83	15.4	N41	3'117.52	3'128.83	11.29
N85	3'258.60	3'276.80	18.17	N40	3'114.19	3'128.72	14.5
N82	3'257.99	3'276.68	18.65	N39	3'108.30	3'128.52	20.18
N81	3'257.61	3'276.61	18.96	N38	3'105.40	3'128.42	22.97
N80	3'257.55	3'276.53	18.94	N37	3'100.81	3'128.25	27.38
N83	3'256.82	3'276.74	19.88	N36	3'096.02	3'128.12	32.03
N79	3'255.76	3'276.41	20.6	N35	3'093.74	3'128.04	34.23
N78	3'252.48	3'276.17	23.64	N34	3'089.90	3'127.81	37.83
N77	3'252.00	3'276.08	24.03	N33	3'085.17	3'127.60	42.34
N75	3'246.65	3'248.15	1.49	N32	3'084.30	3'127.57	43.18
N74	3'240.39	3'247.96	7.56	N31	3'080.70	3'127.32	46.53
N73	3'234.30	3'247.68	13.35	N30	3'075.90	3'127.18	51.18
N72	3'231.19	3'247.54	16.31	N28	3'066.24	3'072.85	6.6
N71	3'226.75	3'247.41	20.62	N27	3'063.96	3'072.69	8.71
N70	3'224.07	3'247.28	23.16	N26	3'061.74	3'072.54	10.78
N69	3'220.93	3'247.07	26.09	N25	3'061.18	3'072.44	11.24
N68	3'217.44	3'246.88	29.39	N24	3'057.79	3'072.16	14.35
N67	3'211.66	3'246.53	34.8	N23	3'052.04	3'071.82	19.74
N66	3'206.91	3'246.22	39.23	N22	3'047.65	3'071.67	23.97
N65	3'201.64	3'245.93	44.2	N21	3'043.75	3'071.51	27.7
N64	3'200.89	3'245.86	44.88	N20	3'043.63	3'071.35	27.67
N63	3'198.90	3'245.66	46.67	N15	3'025.18	3'070.41	45.14
N62	3'194.81	3'245.49	50.57	BM2	3'018.35	3'069.39	50.93
N60	3'191.63	3'245.02	53.28	N11	3'011.70	3'014.94	3.23
N61	3'191.37	3'245.24	53.76	N10	3'007.83	3'014.56	6.72
N58	3'186.31	3'188.58	2.26	N9	3'003.74	3'014.19	10.43
N57	3'181.88	3'188.43	6.53	N8	2'999.79	3'013.82	14.00
N54	3'168.67	3'188.22	19.51	N7	2'996.10	3'013.45	17.31
N53	3'164.87	3'188.11	23.19	N6	2'992.19	3'013.07	20.85
N52	3'158.08	3'187.79	29.65	N5	2'980.25	3'012.70	32.39
N51	3'153.94	3'187.69	33.68	N4	2'976.40	3'012.33	35.86
N50	3'150.33	3'187.54	37.13	N3	2'970.66	3'011.96	41.22
N49	3'144.12	3'187.34	43.14	N3''	2'970.08	3'011.79	41.63

Etiqueta	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
T1	40.294	R-1	N94	90	PVC	140	3.609	0.57
T2	34.816	N94	N91	90	PVC	140	3.609	0.57
T3	19.997	N91	N90	90	PVC	140	3.609	0.57
T4	21.484	N90	N89	90	PVC	140	3.609	0.57
T5	21.484	N89	N88	90	PVC	140	3.609	0.57
T6	7.999	N88	N87	90	PVC	140	3.609	0.57
T7	8.088	N87	N86	90	PVC	140	3.609	0.57
T8	6.471	N86	N85	90	PVC	140	3.609	0.57
T9	13.5	N85	N83	90	PVC	140	3.609	0.57
T10	14.805	N83	N82	90	PVC	140	3.609	0.57
T11	17.059	N82	N81	90	PVC	140	3.609	0.57
T12	18.314	N81	N80	90	PVC	140	3.609	0.57
T13	30.313	N80	N79	90	PVC	140	3.609	0.57
T14	55.854	N79	N78	90	PVC	140	3.609	0.57
T15	21.277	N78	N77	90	PVC	140	3.609	0.57
T16	24.525	N77	CRP 1 (Y)	90	PVC	140	3.609	0.57
T17	6.716	CRP 1 (Y)	N75	75	PVC	140	3.609	0.82
T18	18.777	N75	N74	75	PVC	140	3.609	0.82
T19	27.046	N74	N73	75	PVC	140	3.609	0.82
T20	13.634	N73	N72	75	PVC	140	3.609	0.82
T21	12.503	N72	N71	75	PVC	140	3.609	0.82
T22	12.978	N71	N70	75	PVC	140	3.609	0.82
T23	20.36	N70	N69	75	PVC	140	3.609	0.82
T24	18.345	N69	N68	75	PVC	140	3.609	0.82
T25	34.204	N68	N67	75	PVC	140	3.609	0.82
T26	30.802	N67	N66	75	PVC	140	3.609	0.82
T27	27.964	N66	N65	75	PVC	140	3.609	0.82
T28	6.865	N65	N64	75	PVC	140	3.609	0.82
T29	20.346	N64	N63	75	PVC	140	3.609	0.82
T30	16.594	N63	N62	75	PVC	140	3.609	0.82
T31	24.581	N62	N61	75	PVC	140	3.609	0.82
T32	21.273	N61	N60	75	PVC	140	3.609	0.82
T33	26.968	N60	CRP2	75	PVC	140	3.609	0.82
T34	7.968	CRP2	N58	75	PVC	140	3.609	0.82
T35	14.584	N58	N57	75	PVC	140	3.609	0.82
T36	20.734	N57	N54	75	PVC	140	3.609	0.82
T37	10.698	N54	N53	75	PVC	140	3.609	0.82
T38	31.272	N53	N52	75	PVC	140	3.609	0.82
T39	9.789	N52	N51	75	PVC	140	3.609	0.82
T40	14.53	N51	N50	75	PVC	140	3.609	0.82
T41	19.298	N50	N49	75	PVC	140	3.609	0.82
T42	11.153	N49	N48	75	PVC	140	3.609	0.82
T43	11.615	N48	N47	75	PVC	140	3.609	0.82
T44	11.893	N47	N46	75	PVC	140	3.609	0.82
T45	11.791	N46	N45	75	PVC	140	3.609	0.82
T46	11.716	N45	CRP3	75	PVC	140	3.609	0.82
T47	17.983	CRP3	N43	75	PVC	140	3.609	0.82
T48	23.175	N43	N42	75	PVC	140	3.609	0.82
T49	20.352	N42	N41	75	PVC	140	3.609	0.82
T50	10.104	N41	N40	75	PVC	140	3.609	0.82
T51	20.085	N40	N39	75	PVC	140	3.609	0.82
T52	9.94	N39	N38	75	PVC	140	3.609	0.82

T53	16.381	N38	N37	75	PVC	140	3.609	0.82
T54	13.014	N37	N36	75	PVC	140	3.609	0.82
T55	7.793	N36	N35	75	PVC	140	3.609	0.82
T56	22.753	N35	N34	75	PVC	140	3.609	0.82
T57	19.767	N34	N33	75	PVC	140	3.609	0.82
T58	2.983	N33	N32	75	PVC	140	3.609	0.82
T59	24.686	N32	N31	75	PVC	140	3.609	0.82
T60	13.492	N31	N30	75	PVC	140	3.609	0.82
T61	8.569	N30	CRP4	75	PVC	140	3.609	0.82
T62	25.202	CRP4	N28	75	PVC	140	3.609	0.82
T63	15.466	N28	N27	75	PVC	140	3.609	0.82
T64	15.351	N27	N26	75	PVC	140	3.609	0.82
T65	9.263	N26	N25	75	PVC	140	3.609	0.82
T66	27.261	N25	N24	75	PVC	140	3.609	0.82
T67	33.535	N24	N23	75	PVC	140	3.609	0.82
T68	15.334	N23	N22	75	PVC	140	3.609	0.82
T69	15.327	N22	N21	75	PVC	140	3.609	0.82
T70	15.332	N21	N20	75	PVC	140	3.609	0.82
T71	92.655	N20	N15	75	PVC	140	3.609	0.82
T72	99.793	N15	BM2	75	PVC	140	3.609	0.82
T73	42.719	BM2	CRP5	75	PVC	140	3.609	0.82
T74	36.47	CRP5	N11	75	PVC	140	3.609	0.82
T75	36.47	N11	N10	75	PVC	140	3.609	0.82
T76	36.47	N10	N9	75	PVC	140	3.609	0.82
T77	36.47	N9	N8	75	PVC	140	3.609	0.82
T78	36.475	N8	N7	75	PVC	140	3.609	0.82
T79	36.473	N7	N6	75	PVC	140	3.609	0.82
T80	36.471	N6	N5	75	PVC	140	3.609	0.82
T81	36.471	N5	N4	75	PVC	140	3.609	0.82
T82	36.472	N4	N3	75	PVC	140	3.609	0.82
T83	16.042	N3	N3''	75	PVC	140	3.609	0.82

Elaborado por: Los autores.

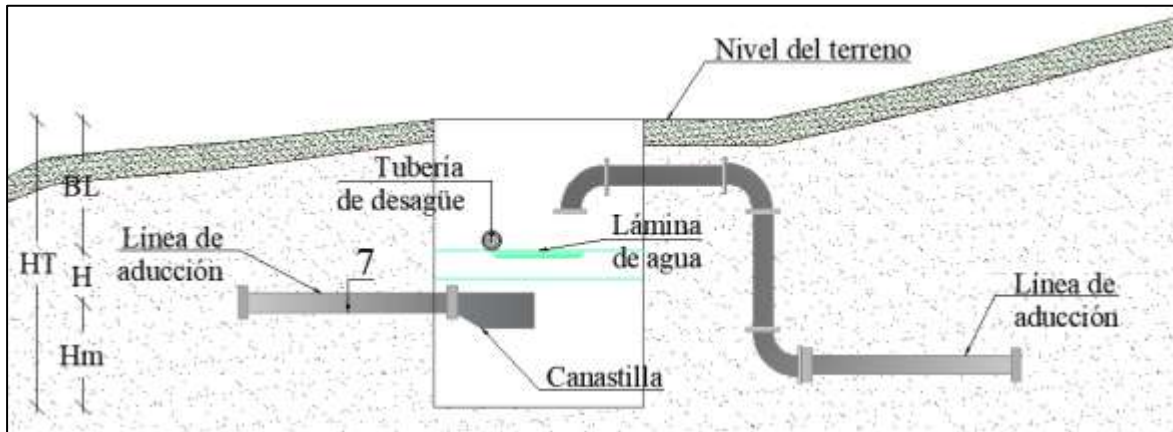
### **4.2.3. Diseño de estructuras complementarias.**

#### ***4.2.3.1. Cámara rompe presiones.***

Este tipo de estructura permite reducir las presiones que superan el valor de la presión de trabajo de la tubería hasta el valor de la presión atmosférica. Permite disipar energía modificando la línea piezométrica y controlar la presión hasta llegar al desarenador.

**Figura 53**

*Cámara rompe presión.*



Elaborado por: Los autores.

Se determinó 5 unidades en todo el trayecto de la línea de aducción, las mismas se encuentran descritas en la siguiente tabla:

**Tabla 53**

*Localización de las cámaras rompe presión.*

Nº	Ubicación	Cota (m.s.n.m.)	Presión (mH <sub>2</sub> O)
1	P76 (Y)	3248,216	32,19
2	P59	3188,976	65,16
3	P44	3129,253	65,70
4	P29	3072,631	62,28
5	P12	3015,022	63,37

Elaborado por: Los autores.

El dimensionamiento de las cámaras rompe presión se hizo en base al criterio de la (Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural., 2018).

#### *4.2.3.1.1. Cálculo de la carga requerida.*

Es la carga necesaria para que el caudal de salida pueda continuar su trayecto.

$$H = 1,56 * \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

V: velocidad en la línea de aducción (m<sup>2</sup>/s).

H: carga requerida (m).

g: aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

El resultado se presenta en la tabla 54 y 55.

#### *4.2.3.1.2. Cálculo de altura total.*

$$H_T = H_m + H + B_L$$

Donde:

H<sub>T</sub>: altura total de la cámara rompe presión (m).

H: carga requerida (m).

H<sub>m</sub>: altura de salida (m).

B<sub>L</sub>: borde libre(m).

El resultado se presenta en la tabla 54 y 55.

#### *4.2.3.1.3. Dimensionamiento interno.*

Se recomienda que la sección interna sea de al menos 60 x 60 cm, para el diseño se escogió una sección de 70 x 70 cm con una profundidad de 1.2 m.

El resultado se presenta en la tabla 54 y 55.

#### *4.2.3.1.4. Dimensionamiento de la canastilla.*

Se recomienda que el diámetro de la canastilla sea el doble del diámetro de la tubería de salida a la línea de aducción; que el área total de las ranuras sea inferior al área longitudinal de



la canastilla; y que la longitud de la canastilla se encuentre en un rango entre 3 y 6 veces el diámetro de la tubería de salida a la línea de aducción.

$$D_c = 2 * D_s$$

$$A_{lc} = 0.5 D_c * L_c$$

$$3 D_s \leq L_c \leq 6 D_s$$

$$N_r = \frac{A_r}{A_t} + 1$$

Donde:

$D_s$ : diámetro de la tubería de salida (m).

$D_c$ : diámetro de la canastilla (m).

$L_c$ : longitud de la canastilla (m).

$A_r$ : área de la ranura (m<sup>2</sup>).

$A_t$ : área total de ranuras (m<sup>2</sup>).

$N_r$ : número de ranuras en la canastilla.

$A_{lc}$ : área lateral de la canastilla (m<sup>2</sup>).

El resultado se presenta en la tabla 54 y 55.

#### 4.2.3.1.5. Tubería de rebose.

La tubería de rebose permite descargar el caudal excesivo en caso de una crecida, el diámetro de esta tubería se determina mediante la siguiente fórmula:

$$D_r = 4,63 * \frac{Q_{dis}^{0,38}}{C^{0,38} * J^{0,21}}$$

Donde:

Dr: diámetro de la tubería de rebose (")

Qdis: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Chow.

J: pérdida de carga unitaria (m/m).

El resultado se presenta en la tabla 54 y 55.

**Tabla 54**

*Dimensiones de la cámara rompe presión, llegada del tramo 1 (tubería D=90mm).*

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad de paso	0,57	m/s
Altura mínima	0,20	m
Borde libre	0,40	m
Altura de carga requerida	0,20	m
Altura total de la cámara rompe presión	1,10	m
Diámetro de la canastilla	0,18	m
Longitud de la canastilla asumida	0,42	m
Número de ranuras asumido	365	u
Diámetro de tubería de rebose recomendado	50	mm
Diámetro de la tubería de llegada de la línea de aducción	90	mm
Diámetro de la tubería de salida hacia la línea de aducción	75	mm

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 55**

*Dimensiones de la cámara rompe presión, llegada del tramo,2,3,4 y 5 (tubería D=75mm).*

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad de paso	0,82	m/s
Altura mínima	0,20	m
Borde libre	0,40	m
Altura de carga requerida	0,20	m
Altura total de la cámara rompe presión	1,10	m
Diámetro de la canastilla	0,15	m
Longitud de la canastilla asumida	0,35	m
Número de ranuras asumido	254,0	u
Diámetro de tubería de rebose recomendado	50	mm
Diámetro de la tubería de llega de la línea de aducción	75	mm
Diámetro de salida hacia la línea de aducción	75	mm

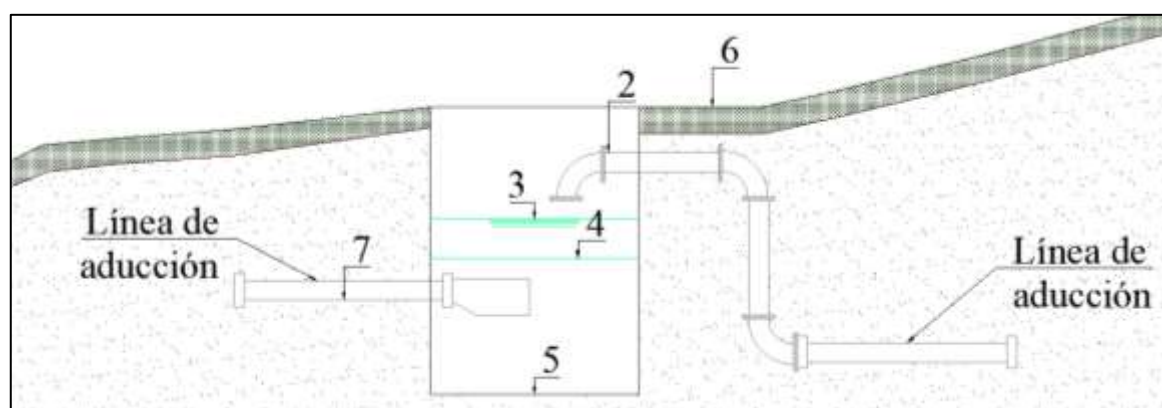
Elaborado por: Los autores.

#### 4.2.3.1.6. Cotas en las cámaras rompe presión.

En la figura 27 se indican las distintas cotas presentes en una cámara rompe presión, considerando el pre diseño de las 5 cámaras rompe presión ubicadas al final de cada tramo de tubería de la línea de aducción; estos valores se reflejan en la tabla 56.

**Figura 54**

*Identificación de las cotas en la cámara rompe presión.*



Elaborado por: Los autores.

**Tabla 56**

*Cotas en la cámara rompe presión.*

N°	Parámetro	Cámara rompe presión (m.s.n.m.)				
		1	2	3	4	5
1	Cota clave de la tubería entrante de la línea de aducción	3247,326	3188,101	3128,378	3071,756	3014,147
2	Cota de la caída de agua de la tubería entrante de la línea de aducción	3248,126	3188,886	3129,163	3072,541	3014,932
3	Cota de la lámina de agua	3247,816	3188,576	3128,853	3072,231	3014,622
4	Cota de la altura mínima de salida	3247,716	3188,476	3128,753	3072,131	3014,522
5	Cota de fondo de la cámara rompe presión	3247,416	3188,176	3128,453	3071,831	3014,222
6	Cota del terreno	3248,216	3188,976	3129,253	3072,631	3015,022
7	Cota clave de la tubería de salida a la línea de aducción	3247,656	3188,416	3128,693	3072,071	3014,462

Elaborado por: Los autores.

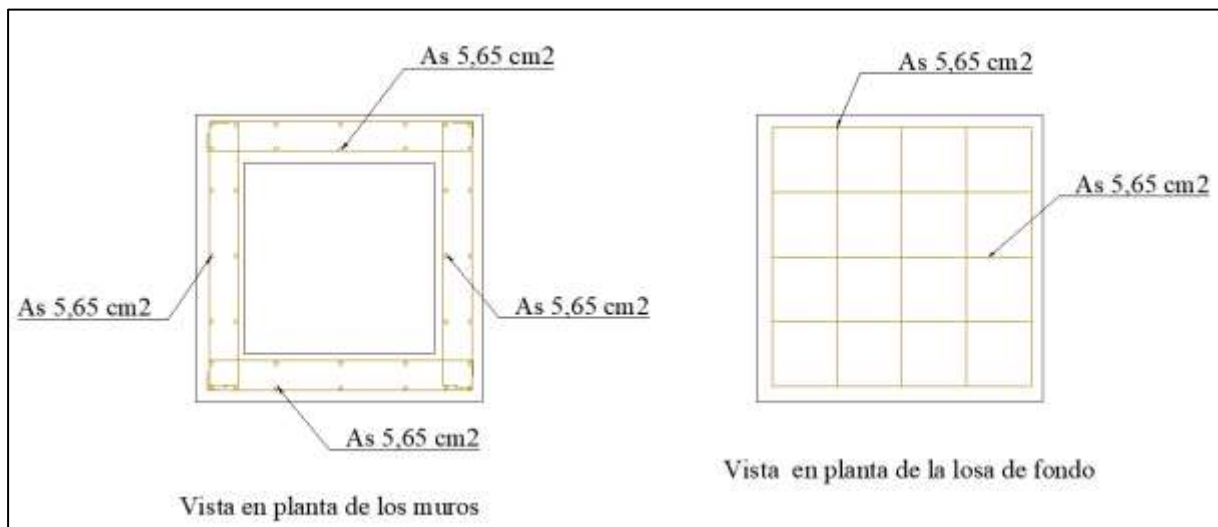
#### 4.2.3.1.7. Diseño estructural.

El diseño estructural de las cámaras rompe presión se realizó de forma análoga a la captación mediante el método de las secciones y siguiendo los lineamientos de la norma (ACI 350.3-01, 2007).

El acero sobre la estructura de igual forma se calculó utilizando el diseño por flexión y verificado a corte, considerando los momentos y fuerzas cortantes determinadas con la ayuda del software Ftool, el proceso de diseño completo se muestra en el Anexo L.

### Figura 55

*Cantidad de acero colocado en cada cámara rompe presión.*



Elaborado por: Los autores.

La figura 55 indica la cantidad de acero colocado en la estructura tanto en los muros, como en la losa superior y la losa inferior.

#### 4.2.3.2. Cruce aéreo.

El cruce aéreo requiere una gran cantidad de verificaciones propias del diseño de un puente colgante; debido a ello se han seguido las recomendaciones de diseño dadas en distintas normas nacionales e internacionales a fin de asegurar el buen comportamiento del puente a

diferentes acciones presentes como: el viento, el sismo, estabilidad frente al deslizamiento y volcamiento.

El dimensionamiento del puente se hizo con las recomendaciones dadas en el libro (Diseño de Puentes AASHTO, 2014) y la expuestas en el trabajo sobre las (Características Estructurales de los Pases Aéreos, 2018); la memoria de cálculo estructural se encuentra en el Anexo M.

La tabla 57 muestra las dimensiones finales obtenidas para el pase aéreo de la línea de aducción.

**Tabla 57**

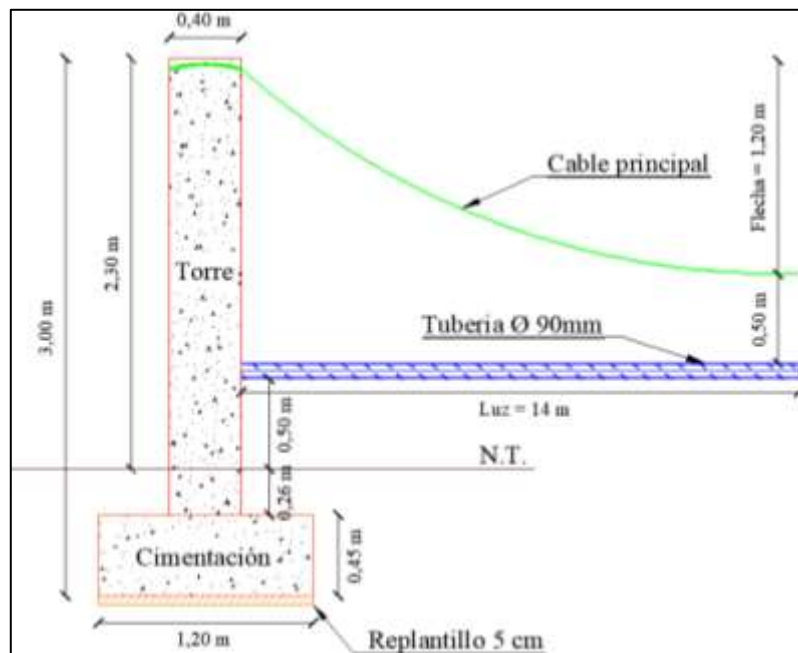
*Dimensiones del paso aéreo.*

Parámetro	Valor	Unidad
Altura del cruce elevado	3,00	m
Altura de la columna	2,30	m
Altura debajo de la tubería	0,50	m
Altura mínima de la tubería a la péndula	0,50	m
Altura de profundización para cimentación	0.71	m
Flecha del cable	1,20	m
Luz del puente	14	m

Elaborado por: Los autores.

**Figura 56**

*Dimensionamiento del cruce aéreo.*



Elaborado por: Los autores.

El bloque de anclaje de hormigón tiene un diseño similar al que se realiza para un muro en voladizo, por esta razón requiere la verificación de sus factores de seguridad; para esto se siguió las sugerencias dadas en los trabajos de (Sheila, 2018) y (Pinto & Valladares, 2016).

**Tabla 58**

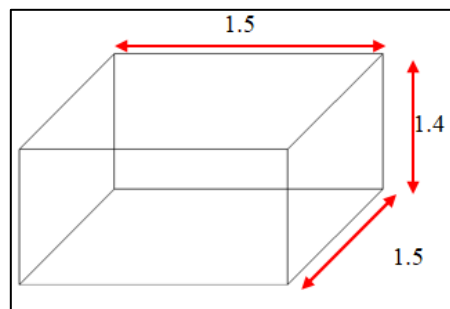
*Diseño del bloque de anclaje.*

Parámetro	Valor	Unidad
Altura	1,00	m
Ancho	1,50	m
Largo	1,50	m
Peso adoptado del bloque de anclaje	7560	kg

Elaborado por: Los autores.

### Figura 57

*Dimensiones del bloque de anclaje*



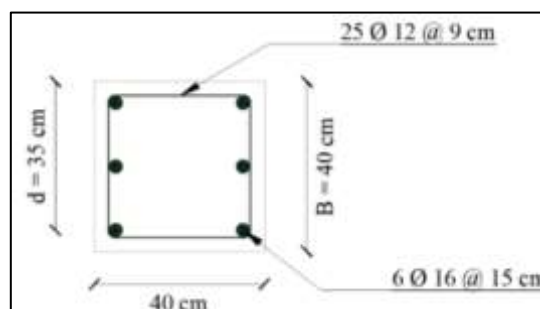
Elaborado por: Los autores.

El armado de la columna se realizó siguiendo las directrices dadas por (ACI 318SUS - 14).

En la siguiente figura se presenta el acero colocado para el refuerzo vertical y horizontal.

### Figura 58

*Armadura de acero en la torre.*

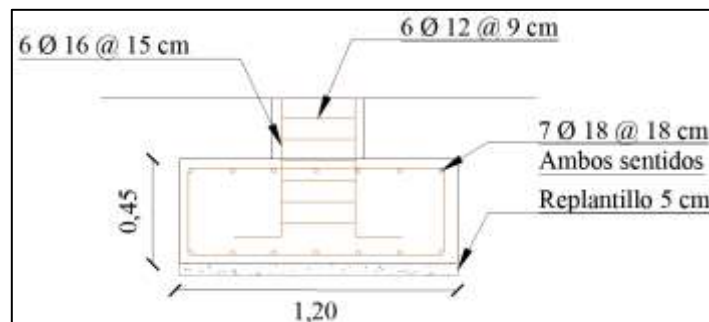


Elaborado por: Los autores.

Para el diseño de una zapata cuadrada se realizó verificación a punzonamiento y corte-viga; este diseño está normado en la (ACI 318SUS - 14); para determinar la carga de diseño se utilizó la combinación de carga dada en la norma (NEC - SE - CG, 2015), 1,4 veces la carga muerta. A continuación, se muestra la cuantía de acero colocada.

**Figura 59**

*Armado de la zapata para para el cruce aéreo.*



Elaborado por: Los autores.

Para concluir con el diseño estructural se revisó su estabilidad frente al deslizamiento y al volcamiento, en la tabla 59 se puede ver observar que la estructura diseñada cumple con los parámetros de estabilidad.

**Tabla 59**

*Verificación de la estabilidad en la estructura de soporte del paso aéreo.*

Parámetro	Valor	Verificación
Factor de seguridad al deslizamiento	6,16	>1,50 Cumple
Factor de seguridad al volcamiento	2,01	>2,00 Cumple

Elaborado por: Los autores.

### **4.3 Desarenador**

El desarenador es una obra que nos permite decantar partículas sólidas y retener sólidos que se encuentran suspendidos.

Para el diseño se planteó un desarenador rectangular de flujo horizontal, en el cual se identifican 4 zonas. Ver figura 61.

- Zona de entrada: En esta zona se produce la disipación de energía del flujo que viene directamente de la línea de aducción.

A lado de esta zona se identificó un vertedero de excesos.



- b) Zona de sedimentación: Consiste en un canal en el cual se realiza el proceso de depósito de partículas. Tiene diferentes pendientes en el fondo para facilitar la limpieza.
- c) Zona de salida: Conformada por un vertedero de rebose, diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada.
- d) Zona de lodos: Esta zona permitirá el almacenamiento de las partículas sedimentadas, la limpieza de la unidad, el control y mantenimiento eficiente del sistema.

#### 4.4.1. Localización del desarenador.

El diseño del desarenador tiene lugar en el tramo final del sistema de conducción, este se ubica antes del tanque de almacenamiento, debido al espacio y fácil acceso que tiene este lugar, proporcionando a su vez ventajas constructivas y económicas futuras.

Para ello se planteó dos alternativas, la primera alternativa considera una reconstrucción del tanque de almacenamiento actual, de esta forma el desarenador se dispone unos metros antes de este componente del sistema; la segunda alternativa es ubicar el desarenador en un espacio libre, de fácil acceso, a continuación, se presenta una tabla de las propuestas para la localización del desarenador:

**Tabla 60**

*Alternativas de localización del desarenador.*

Alternativa	Coordenadas UTM		Cota del terreno (m.s.n.m)
	Norte	Este	
1	9920006,044	738641,752	2963,344
2	9919988,749	738788,501	2970,08

Elaborado por: Los autores.

**Figura 60**

*Alternativas de ubicación del desarenador.*



Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.2 Criterios de diseño.**

##### **4.4.2.1 Caudal de diseño.**

El caudal diseño recomendado para este tipo de obras es el caudal medio diario más un incremento del 10 % (SENAGUA, 2014).

$$Q_{dis} = Q_{MD} + 10\%$$

$$Q_{dis} = 3,281 \frac{1}{s} + 10\%$$

$$Q_{dis} = 3,601 \frac{1}{s}$$

#### 4.4.2.2 Diámetro de las partículas a remover.

Para el diseño del desarenador se asumió que se van a remover partículas de suelo superiores a 0,05 mm de diámetro, según el autor (López, 2003) este diámetro es característico de arenas muy finas, suelo característico de esta zona.

La densidad de la partícula de arena es 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 61**

*Clasificación del material en suspensión según su tamaño.*

Material	Diámetro (mm)	Material	Diámetro (mm)
<i>Gravilla</i>		<i>Fango</i>	
Gruesa	> 2	Grueso y medio	0,05 - 0,01
Fina	2,00 - 1,00	Fino	0,01 - 0,005
<i>Arena</i>		<i>Arcilla</i>	
Gruesa	1,00 - 0,50	Gruesa y media	0,005 - 0,001
Mediana	0,50 - 0,25	Fina	0,001 - 0,0001
Fina	0,25 - 0,10	Coloidal	< 0,0001
Muy fina	0,10 - 0,05		

Elaborado por: Los autores.

#### 4.4.2.2 Viscosidad cinemática del agua.

La viscosidad cinemática del agua depende la temperatura, el (Actualización Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial Sigchos 2015-2065, 2015), las temperaturas medias anuales en el cantón varían entre 4 y 20 °C, por tal razón la viscosidad cinemática se determinó a partir de una temperatura de 10° C dando un valor de 0,01308 cm<sup>2</sup>/s.

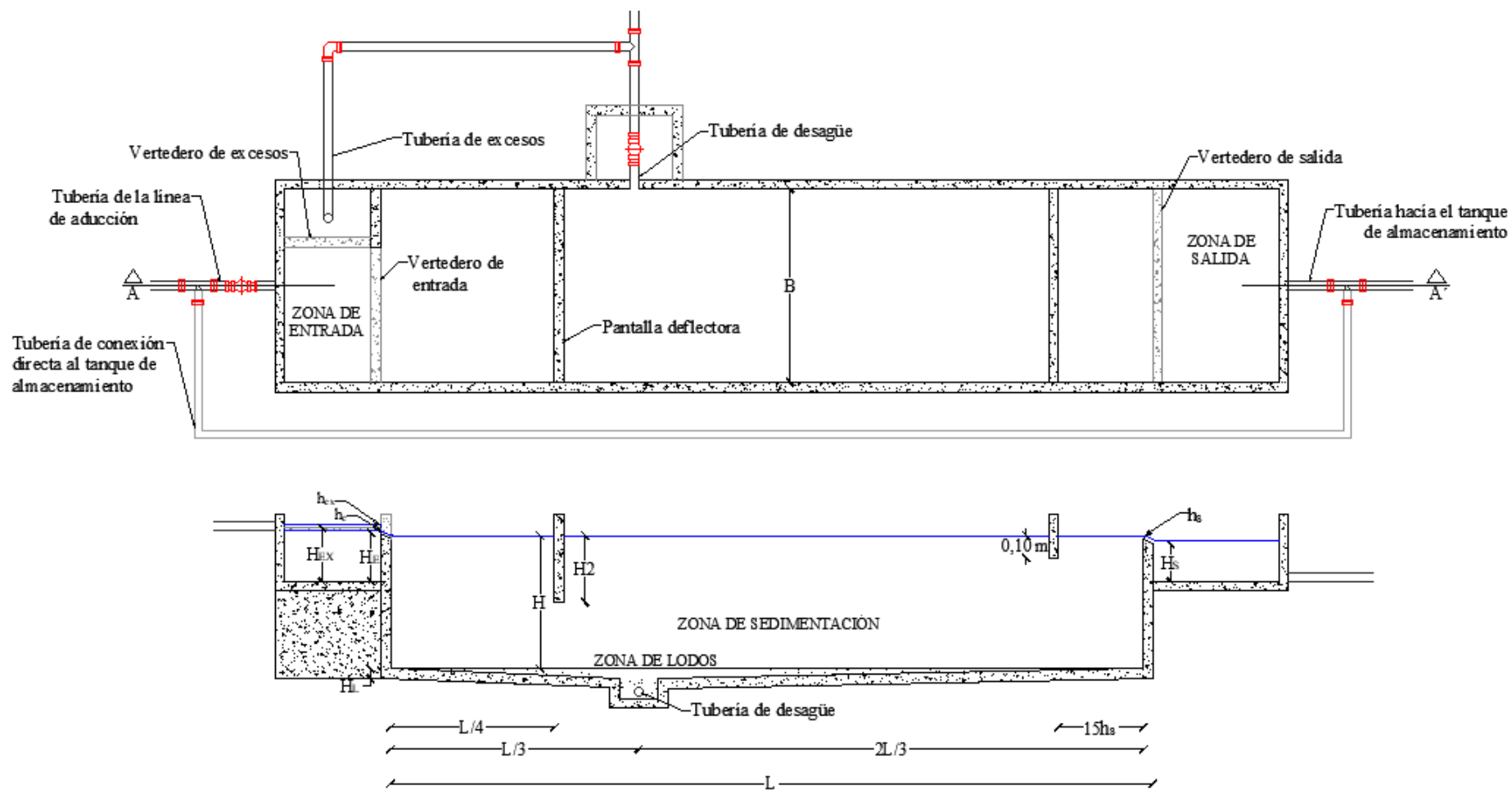
**Tabla 62***Viscosidad cinemática del agua.*

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (cm <sup>2</sup> /s)	Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (cm <sup>2</sup> /s)
0	0,01792	18	0,01059
2	0,01763	20	0,01007
4	0,01567	22	0,0096
6	0,01473	24	0,00917
8	0,01386	26	0,00876
10	0,01308	28	0,00839
12	0,01237	30	0,00804
14	0,01172	32	0,00772
15	0,01146	34	0,00741
16	0,01112	36	0,00713

Elaborado por: Los autores.

**Figura 61**

*Esquema del desarenador rectangular con flujo horizontal.*



Elaborado por: Los autores.

#### 4.4.3 Cálculo de la velocidad de sedimentación.

Hazen y Stokes desarrollaron la teoría de sedimentación en la cual intervienen dos fuerzas actuantes, fuerza gravitacional y fuerza de empuje, cuando estas fuerzas se encuentran equilibradas las partículas no realizan movimientos, en el caso contrario cuando las fuerzas no se encuentran equilibradas actúa una fuerza resultante que origina descenso de las partículas. Este movimiento origina una fuerza de fricción que depende de la velocidad de sedimentación. De acuerdo con la teoría cuando la fuerza resultante y la fuerza de fricción se igualan, las partículas se desplazan hacia el fondo con una velocidad constante, conocida como velocidad de sedimentación (Corcho & Duque, 2009).

Para determinar la velocidad de sedimentación se considera: régimen con flujo laminar, flujo turbulento y un flujo de transición. Asumimos que el flujo es laminar y utilizamos la siguiente ecuación, es importante mencionar que se debe verificar este supuesto.

La velocidad de sedimentación considera la temperatura del agua y el diámetro de la partícula a remover.

$$V_s = \frac{g}{18} \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} d^2$$

Donde:

$V_s$ : velocidad de sedimentación (cm/s).

$g$ : aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

$\rho_s$ : densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>).

$\rho$ : densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>).

$d_s$ : diámetro de las partículas a remover (cm).

$\mu$ : viscosidad cinemática del agua (cm<sup>2</sup>/s).

El resultado se presenta en la tabla 63.

#### 4.4.4. Cálculo del número de Reynolds en la zona de Stokes.

El número de Reynolds se encuentra en función del coeficiente de arrastre, al determinar este parámetro se compara si es menor que la unidad o mayor que mil, la segunda comparación consiste en verificar si el diámetro de la partícula es menor a 0,085 mm o si la partícula supera 1 mm, lo que nos permite determinar el tipo de régimen en tubular o laminar (CEPIS/OPS, 2004). A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas:

$$C_D = a * Re^{-n}$$

$$Re = \frac{V_s * d_s}{\mu}$$

En este caso:  $d < 0,085$  mm,  $Re < 1$ , por lo tanto, el régimen de flujo es laminar y la velocidad de sedimentación es correcta.

El resultado se presenta en la tabla 63.

#### 4.4.5 Cálculo del tiempo de sedimentación.

Es el tiempo que tarda una partícula en llegar al fondo del desarenador. Para la altura del desarenador se asume la altura recomendada por el autor (López, 2003) igual a 1,5 m.

$$t_s = \frac{H}{V_s}$$

Donde:

$t_s$ : tiempo de sedimentación (s).

H: altura del desarenador (m).

$V_s$ : velocidad de sedimentación (m/s).

### Tabla 63

*Parámetros que no dependen de las dimensiones del desarenador.*

Parámetros	Valor	Unidad
Temperatura del agua	10,00	°C
Viscosidad cinemática	0,01308	cm <sup>2</sup> /s
Densidad del agua	1,00	gm/cm <sup>3</sup>
Diámetro de la partícula	0,005	cm
Densidad de la partícula de arena	2,65	gm/cm <sup>3</sup>
Profundidad asumida	150	cm
Velocidad de sedimentación de la partícula	0,172	cm/s
Número de Reynolds	0,0657	
Tiempo de sedimentación	14,55	min

Elaborado por: Los autores.

Los resultados obtenidos de los siguientes cálculos se encuentran señalados en la tabla 63, en la cual se comparan los valores cuando el diseño del desarenador integra y no integra el diseño de una pantalla deflectora.

#### 4.4.6 Cálculo del tiempo de retención hidráulico en el desarenador.

$$t_r = \#Hz * t_s$$

Donde:

$T_r$ : tiempo de retención hidráulico en el desarenador (s).

$t_s$ : tiempo de sedimentación (s).

#Hz: Número de Hazen

El resultado se presenta en la tabla 65.



#### 4.4.6.1 Cálculo del número de Hazen.

El número de Hazen tiene relación directa con el grado del desarenador y el porcentaje de partículas que se desea remover. El grado del desarenador está dada por una calificación de la eficiencia de las pantallas deflectoras.

**Tabla 64**

*Número de Hazen.*

Grado	Porcentaje de remoción de partículas (%)								Descripción
	87,50	80	75	70	65	60	55	50	
n=1	7	4	3	2,3	1,8	1,5	1,3	1	Deflectores deficientes o ausencia de ellos
n=3	2,75		1,66					0,76	Deflectores regulares
n=4	2,37		1,53					0,73	Deflectores buenos
n= ∞	0,88		0,75					0,5	Caso teórico

Elaborado por: Los autores con información tomada de (López, 2003)

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### 4.4.7 Cálculo del volumen del desarenador.

$$V_d = Q_{dis} * t_r$$

Donde:

$V_d$ : volumen útil del desarenador ( $m^3$ )

$Q_{dis}$ : caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

$t_r$ : tiempo de retención (s).

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### 4.4.8 Cálculo del área superficial del desarenador.

$$A_s = \frac{V_d}{H}$$

Donde:

As: área superficial del desarenador (m<sup>2</sup>).

V<sub>d</sub>: volumen útil del desarenador (m<sup>3</sup>).

H: altura del desarenador (m).

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### **4.4.9 Dimensionamiento del desarenador.**

La relación asumida para dimensionamiento del desarenador rectangular es 4:1, correspondiendo a la longitud y ancho, siendo:

$$\frac{4}{1} = \frac{L}{B}; As = L * B$$

$$B = \sqrt{\frac{As}{4}}$$

Donde:

As: área superficial del desarenador (m<sup>2</sup>).

L: longitud del desarenador (m).

B: ancho del desarenador (m).

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### **4.4.10 Cálculo de la carga hidráulica superficial del desarenador.**

La carga hidráulica superficial del desarenador es igual a la velocidad crítica de sedimentación.

$$q = V_{sc} = \frac{Q}{As}$$

Donde:

q: carga hidráulica superficial del desarenador (m/s).

$V_{sc}$ : velocidad crítica de sedimentación (m/s).

$Q_{dis}$ : caudal de diseño del desarenador (m<sup>3</sup>/s).

El desarenador tiene la capacidad de retener partículas con un diámetro mayor o igual a 0,005 mm.

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### **4.4.11 Cálculo del diámetro teórico de las partículas a remover.**

Este diámetro en teoría representa el tamaño de partículas que pudiesen ser removidas, debido que en su fórmula considera la velocidad crítica de sedimentación el valor del diámetro teórico será inferior al diámetro de la partícula de diseño.

$$d_o = \sqrt{\frac{V_{sc} * 18 * \mu}{g * (\rho_s - \rho)}}$$

Donde:

$d_o$ : diámetro teórico de las partículas a remover (cm).

$V_{sc}$ : velocidad crítica de sedimentación (m/s).

$\mu$ : viscosidad cinemática del agua a 10°C = 0,01308 cm<sup>2</sup>/s.

g: aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

$\rho_s$ : densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>).

$\rho$ : densidad del agua ( $\text{g/cm}^3$ ).

En condiciones reales la remoción de partículas con el valor del diámetro teórico no es posible, el rango máximo es de 0,05 mm.

#### **4.4.12 Cálculo de la velocidad horizontal en el desarenador.**

$$V_h = \frac{Q_{dis}}{A}; A = B * H$$

Donde:

$V_h$ : velocidad horizontal en el desarenador (m/s).

$Q_{dis}$ : caudal de diseño del desarenador ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

A: Área transversal del desarenador ( $\text{m}^2$ ).

B: ancho del desarenador (m).

H: altura del desarenador (m).

El resultado se presenta en la tabla 65.

#### **4.4.13 Cálculo de la velocidad de arrastre y velocidad máxima horizontal en el desarenador.**

$$V_a = \sqrt{\frac{8K}{f} * g * (\rho_s - \rho) * d_s}$$

Donde:

$V_a$ : velocidad arrastre (cm/s).

f: factor de Darcy-Weisbach (0,03 para cemento).

K: coeficiente K varía entre 0,04, para sedimentadores de partículas discretas, y 0,06 para sedimentadores de sólidos floculantes.

$g$ : aceleración de la gravedad ( $\text{cm/s}^2$ ).

$\rho_s$ : densidad de la partícula ( $\text{g/cm}^3$ ).

$\rho$ : densidad del agua ( $\text{cm}^3$ ).

$d_s$ : diámetro de las partículas a remover (cm).

$$V_{hm\acute{a}x} = \frac{Va}{f}$$

Donde:

$V_{hm\acute{a}x}$  = velocidad máxima horizontal (m/s).

$Va$ : velocidad arrastre (cm/s).

$f$ : factor de seguridad (3).

**Tabla 65**

*Comparación del desarenador diseñado sin pantalla deflectora y con pantalla deflectora.*

Parámetros	Sin pantalla deflectora		Con pantalla deflectora	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
Porcentaje de remoción de partícula	75	%	75	%
Grado del desarenador	1		3	
Número de Hazen	3		1,66	
Tiempo de retención hidráulico en el desarenador	43,64	min	24,15	min
Volumen del tanque	9,450	m <sup>3</sup>	5,229	m <sup>3</sup>
Área superficial	6,300	m <sup>2</sup>	3,486	m <sup>2</sup>
Ancho del tanque	1,255	m	0,934	m
Longitud del tanque	5,020	m	3,734	m
L/B	4,000	OK	4,000	OK
Carga hidráulica superficial	0,000573	m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	0,001035	m <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>
Diámetro teórico de las partículas a remover	0,029	mm	0,039	mm
Velocidad horizontal	0,192	cm/s	0,258	cm/s
Velocidad de arrastre	9,291	cm/s	9,291	cm/s
Velocidad horizontal máxima	3,097	cm/s	3,097	cm/s
V <sub>h</sub> → < V <sub>a</sub>	No hay arrastre de partículas			
V <sub>hmax</sub> < V <sub>a</sub>	No habrá suspensión del material sedimentado			

Elaborado por: Los autores.

La tabla 65 resume los resultados de los parámetros expuestos con anterioridad, se presenta la comparación de valores cuando se asume una pantalla deflectora horizontal en el pre diseño del desarenador, la cual ayuda al dispositivo a tener mayor eficiencia, reduce las dimensiones del tanque, el tiempo de retención hidráulico de las partículas disminuye con 19,49 minutos y la velocidad horizontal aumenta con 0,066 cm/s.

#### **4.4.14 Cálculo de los elementos del desarenador.**

##### **4.4.14.1 Diseño del vertedero de pared delgada.**

Para este diseño de vertederos se utilizó la fórmula de Francis, la cual atribuye un valor de 0,622 para el coeficiente de descarga, tras 4 años de estudios realizados a partir del año 1848. Esta fórmula tiene 3 parámetros que deben ser verificados para su aplicación: la carga hidráulica

(H) debe estar en un rango de (0,18 a 0,58) m, la altura del vertedero (P) debe estar en un rango de (0,60 a 1,50) m y como una recomendación menciona que la relación  $L/H > 3$  (Puga, 2010).

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \sqrt{2g} * 0,622 * \left( L - \frac{nH}{10} \right) \left[ \left( H + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

Donde:

$Q_{dis}$ : caudal de diseño del desarenador ( $m^3/s$ ).

$g$ : aceleración de la gravedad ( $cm/s^2$ ).

$C_d$ : Coeficiente de descarga

$L$ : ancho real del vertedero (m)

$n$ : número de contracciones laterales ( $n= 0$ ).

$H$ : carga estática del vertedero (m)

$V_o$ : Velocidad de acercamiento (m/s).

Asumiendo que el número de contracciones laterales es nulo y la aceleración de la gravedad es igual a  $9,81 \text{ m/s}^2$ , la fórmula de Francis se reduce en la siguiente expresión:

$$Q_{dis} = \frac{2}{3} \sqrt{2g} * 0,622 * \left( L - \frac{nH}{10} \right) \left[ \left( H + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

$$\frac{2}{3} \sqrt{2g} * 0,622 = \frac{2}{3} \sqrt{2(0,81)} * 0,622 = 1,836 \approx 1,84$$

$$Q_{dis} = 1,84 * \left[ \left( H + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

Con la expresión reducida realizamos iteraciones hasta igualar con el valor del caudal de diseño.

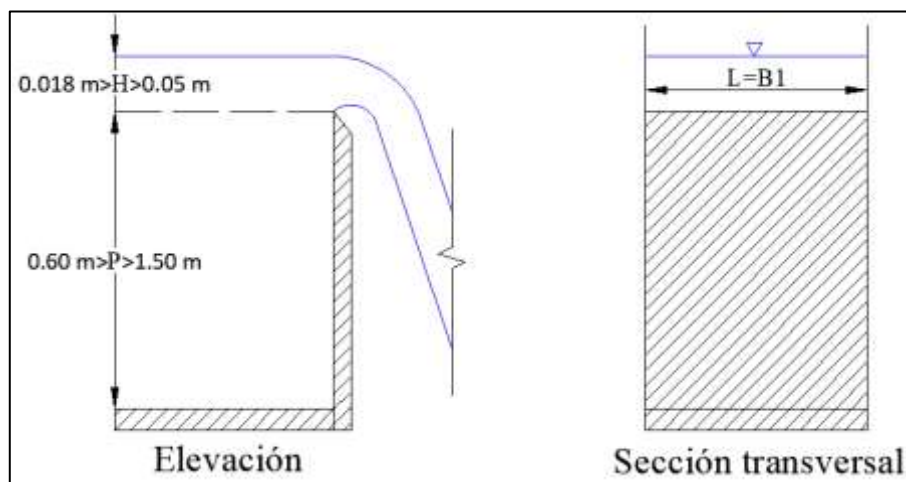
El dato de entrada fue la carga hidráulica del vertedero, posterior a ello se determinó el área de acercamiento ( $A_0$ ) y la velocidad de acercamiento.

$$A_0 = (H + P) * L$$

$$V_0 = \frac{Q_{dis}}{A_0}$$

### Figura 62

*Vertedero rectangular de pared delgada.*



Elaborado por: Los autores.

En la tabla 66 y 67 se desprenden los resultados para el diseño del vertedero de pared delgada, ubicado en la zona de entrada, zona de excesos y zona de salida del desarenador.



**Tabla 66**

*Vertedero de: entrada, excesos y salida. Desarenador sin pantalla deflectora.*

Vertedero de: entrada, excesos y salida. Desarenador sin pantalla deflectora				
Parámetros	Vertedero de entrada	Vertedero de salida	Vertedero de excesos	Unidad
	Valor			
Caudal de diseño		0,00361		m <sup>3</sup> /s
Número de contracciones laterales		0		-
Coefficiente de descarga		0,622		-
Carga estática del vertedero		1,5		m
X (Longitud del vertedero de excesos)	0,30	-	-	m
Ancho real del vertedero	0,95	1,255	0,5	m
Altura del vertedero		0,6	0,8	m
Aceleración de la gravedad		9,81		m/s <sup>2</sup>
Carga hidráulica	0,016	0,014	0,025	m
Carga hidráulica + Altura del vertedero	0,616	0,614	0,825	m
Área de acercamiento	0,588	0,770	0,412	m <sup>2</sup>
Velocidad de acercamiento	0,0061	0,0047	0,0088	m/s
B1/H>3	58,950	92,962	20,080	Cumple
$\frac{2}{g} * \sqrt{2g} * C_d$	1,84	1,84	1,84	-
$\left(L - \frac{nH}{10}\right) \left[ \left(H + \frac{V_o^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{V_o^2}{2g}\right)^{3/2} \right]$	0,00362	0,00362	0,00361	m <sup>3</sup> /s

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 67**

*Vertedero de: entrada, excesos y salida. Desarenador Con pantalla deflectora.*

Vertedero de: entrada, excesos y salida. Desarenador Con pantalla deflectora				
Parámetro	Vertedero de entrada	Vertedero de salida	Vertedero de excesos	Unidad
	Valor			
Caudal de diseño		0,00361		m <sup>3</sup> /s
Número de contracciones laterales		0		-
Coefficiente de descarga		0,622		-
carga estática del vertedero		1,5		m
X (Longitud del vertedero de excesos)	0,30			m
Ancho real del vertedero	0,63	0,934	0,5	m
Altura del vertedero		0,6	0,8	m
Aceleración de la gravedad		9,81		m/s <sup>2</sup>
Carga hidráulica	0,021	0,017	0,025	m
Carga hidráulica + Altura del vertedero	0,621	0,617	0,825	m
Área de acercamiento	0,394	0,576	0,412	m <sup>2</sup>
Velocidad de acercamiento	0,0092	0,0063	0,0088	m/s
B1/H>3	29,744	56,578	20,080	Cumple
$\frac{2}{g} * \sqrt{2g} * C_d$	1,84	1,84	1,84	-
$\left(L - \frac{nH}{10}\right) \left[ \left(H + \frac{V_o^2}{2g}\right)^{3/2} - \left(\frac{V_o^2}{2g}\right)^{3/2} \right]$		0,00363	0,00361	0,00362

Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.14.2 Diseño de la pantalla deflectora de entrada.**

Las pantallas deflectoras tienen como objetivo distribuir las láminas de agua de forma uniforme y homogenizar la velocidad del flujo.

Se asume una velocidad de paso a través de los orificios inferior a 0,20 m/s con el propósito de no alterar el proceso de sedimentación.

$$h_d = \frac{H}{2}$$

Donde:

$h_d$ : altura de la pantalla deflectora de entrada (m)

H: altura del desarenador (m).

$$A_e = \frac{Q_{dis}}{V_p}$$

Donde:

$A_e$ : área efectiva de los orificios (m<sup>2</sup>).

$Q_{dis}$ : caudal de diseño del desarenador (m<sup>3</sup>/s).

$V_p$ : Velocidad de paso a través de los orificios (m/s).

El número de orificios está dado por la relación entre el área efectiva de los orificios y el área del orificio, esta última se determina con el diámetro del orificio asumido para el diseño.

$$N = \frac{A_e}{a_o}$$

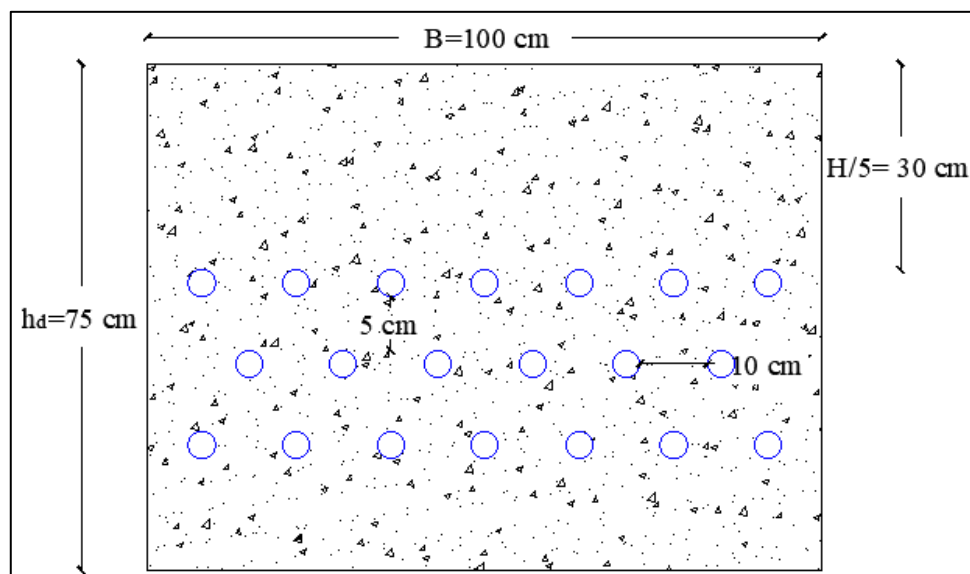
La pantalla deflectora se ubica a L/4 del vertedero de entrada.

Los orificios que se encuentran distribuidos a una distancia horizontal de borde a borde igual 10 cm y una distancia vertical de borde a borde igual a 5 cm. Los primeros orificios distribuidos de forma horizontal se encuentran a la altura de H/5, altura considerada desde el borde superior de los orificios hasta la lámina de agua superficial (VMCS, 2009).

Los resultados obtenidos se encuentran señalados en la figura 63 y en la tabla 68.

**Figura 63**

*Pantalla deflectora rectangular con orificios circulares.*



Elaborado por: Los autores.

**Tabla 68**

*Pantalla deflectora rectangular con orificios circulares.*

Parámetro	Valor	Unidad
Profundidad	0,75	m
Distancia horizontal desde el vertedero de entrada	0,934	m
Velocidad de paso a través de los orificios	0,15	m/s
Área efectiva de orificios	0,0241	m <sup>2</sup>
Diámetro orificios	0,04	m
Área de orificio	0,00126	m <sup>2</sup>
Número de orificios	20	u

Elaborado por: Los autores.

#### ***4.4.14.3 Diseño de cortina para sólidos flotantes.***

El diseño de esta pantalla nos permite retener sólidos flotantes que han llegado hasta esa zona.

$$h_{ps} = \frac{H}{2}$$

Donde:

$h_{ps}$ : altura de la pantalla de salida (m)

H: altura del desarenador (m).

La pantalla de salida se encuentra dispuesta a una distancia de 15 veces la carga estática del vertedero de salida desde la cara del mismo y a 0,10 m superando el nivel de la lámina superficial de agua (Corcho & Duque, 2009)

#### ***4.4.14.4 Diseño de la cámara de excesos.***

Para el dimensionamiento de esta cámara se utilizó la siguiente ecuación del tiro parabólico.

Las dimensiones asumidas para esta cámara son las mismas tanto para el pre diseño del desarenador que: incluya el diseño de una pantalla deflectora o no incluya ese elemento. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 69.

$$x' = V_v * t * \cos\theta$$

$$y = -V_v * t * \sin\theta + \frac{1}{2} g * t^2$$

Donde:

$V_v$ : velocidad máxima en el vertedero igual a la velocidad máxima horizontal 0,031 m/s.

$x'$ : distancia horizontal x desde la cara del vertedero (m).

t: tiempo de caída (tiempo en que una partícula de agua en la superficie viaja una distancia “x” (s).

$\theta$ : ángulo de inclinación de la velocidad V con respecto a la horizontal (°).

y: altura de la caída del chorro del vertedero, se asume una altura de 1,5 m.

**Tabla 69***Dimensiones de la cámara de excesos (Tiro parabólico).*

Parámetro	Valor	Unidad
Velocidad máxima horizontal	0,031	m/s
Altura de la caída del chorro del vertedero	1,7	m
Aceleración de la gravedad	9,81	m/s <sup>2</sup>
Tiempo de caída	0,589	s
Ángulo de inclinación de la velocidad V con respecto a la horizontal	0	°
Distancia horizontal x desde la cara del vertedero	0,02	m
<b>Secciones para la cámara de salida</b>		
Largo	0,30	m
Ancho	0,50	m
Profundidad	1,70	m

Elaborado por: Los autores.

**4.4.14.5 Diseño de la zona de entrada.**

Se asumió que el ancho de este vertedero sea la mitad del ancho del desarenador y la profundidad de la cámara un tercio de la profundidad del desarenador.

$$b_e = \frac{B}{2}; h_e = \frac{H}{3}$$

El largo de la cámara de entrada depende del ancho de la cresta del vertedero de excesos.

**4.4.14.6 Diseño de la zona de lodos.**

La placa de entrada y placa de salida fueron diseñadas con los criterios que recomienda la (Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural., 2018, pág. 95).

**4.4.14.6.1 Diseño de la placa de entrada**

$$L' = \frac{1}{3}L$$

$$H_L = L' * i$$

Donde:

L': longitud de la primera parte del desarenador (m).

L: longitud del desarenador (m).

i: pendiente del fondo del desarenador a la entrada (i= 10 %)

H<sub>L</sub>: altura de la zona de lodos.

#### 4.4.14.6.2 Diseño de la placa de salida

$$L'' = \frac{2}{3}L$$

$$i' = \frac{H'}{L''}$$

Donde:

L'': longitud de la primera parte del desarenador (m).

L: longitud del desarenador (m).

i': pendiente del fondo del desarenador a la salida (i= 10 %)

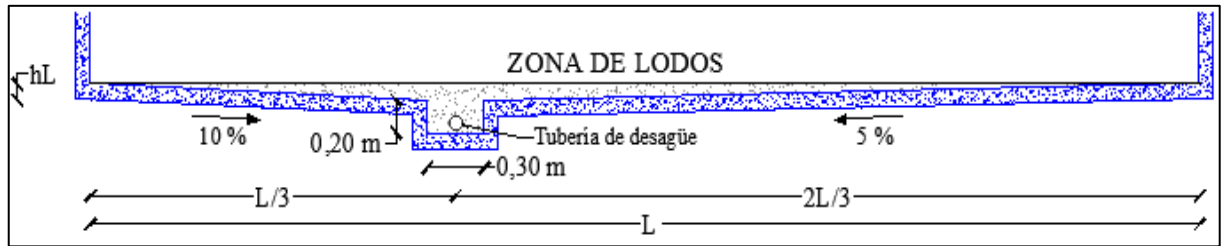
H<sub>L</sub>: altura de la zona de lodos.

#### 4.4.14.6.3 Diseño de la cámara de lavado o limpieza en la zona de lodos.

Se asumió una altura de 20 cm y una longitud de 30 cm, el ancho la cámara es igual al ancho del tanque del desarenador, esta cámara se encuentra en el punto más bajo de la unidad desarenadora, aquí se recolectan las partículas sólidas, posterior a ello se realiza limpieza y los residuos son expulsados por la tubería de desagüe. La tabla 70 presenta los resultados obtenidos del dimensionamiento de la zona de lodo de un desarenador sin/con pantalla deflectora.

**Figura 64**

*Esquema de la zona de lodos.*



Elaborado por: Los autores.

**Tabla 70**

*Dimensionamiento zona de lodos. Desarenador sin/con pantalla deflectora.*

Dimensionamiento de la zona de lodos para el desarenador sin/con pantalla deflectora				
Sin pantalla deflectora		Con pantalla deflectora		
Parámetro	Valor	Valor	Valor	Unidad
L/3	1,67	1,24		m
Pendiente \	0,10	0,10		%
HL	0,17	0,12		m
2L/3	3,35	2,49		m
Pendiente /	0,05	0,05		%
Altura de la cámara de lavado	0,2	0,2		m
Longitud de la cámara de lavado	0,3	0,3		m
Ancho del desarenador	1,25	0,93		m

Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.14.7 Diseño de la zona de salida.**

De la misma forma que la cámara de excesos, la cámara de salida del desarenador se diseña con la ecuación del tiro parabólico, indicada a continuación:

$$x' = V_v * t * \cos\theta$$

$$y = -V_v * t * \sin\theta + \frac{1}{2} g * t^2$$

Donde:

$V_v$ : velocidad máxima en el vertedero igual a la velocidad máxima horizontal 0,031 m/s.



$x'$ : distancia horizontal  $x$  desde la cara del vertedero (m).

$t$ : tiempo de caída (tiempo en que una partícula de agua en la superficie viaja una distancia “ $x$ ” (s).

$\Theta$ : ángulo de inclinación de la velocidad  $V$  con respecto a la horizontal ( $^\circ$ ).

$y$ : altura de la caída del chorro del vertedero, se asume una altura de 0,6 m.

La siguiente tabla contiene los resultados obtenidos del dimensionamiento de la cámara de salida de un desarenador sin/con pantalla deflectora.

**Tabla 71**

*Dimensiones de la cámara de salida. Desarenador sin/con pantalla deflectora.*

Parámetros		Valor	Unidad
Velocidad máxima horizontal		0,031	m/s
Altura de la caída del chorro del vertedero		0,6	m
Aceleración de la gravedad		9,81	m/s <sup>2</sup>
Tiempo de caída		0,350	s
Ángulo de inclinación de la velocidad $V$ con respecto a la horizontal		0	$^\circ$
Distancia horizontal $x$ desde la cara del vertedero		0,0108	m
Secciones para la cámara de salida			
Sin pantalla deflectora		Con pantalla deflectora	
Parámetros	Valor	Valor	Unidad
Largo	0,50	0,50	m
Ancho	1,25	0,93	m
Profundidad	0,6	0,6	m

Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.15 Tubería de lavado/desagüe**

La tubería de lavado/desagüe se utiliza para vaciar el desarenador para realizar trabajos de limpieza o mantenimiento; se consideró los lineamientos de diseño dados en el libro (Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, págs. 283-286); la tubería será de material PVC con una longitud aproximada de 7 metros.

La carga hidráulica disponible es la diferencia entre el nivel máximo del tanque y la cota de descarga de la tubería, con este valor se determinó la pérdida de carga unitaria.

A continuación, se indican las fórmulas utilizadas para el cálculo de la tubería de desagüe.

$$Q_s = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

$$h_{est} = \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Qs: Caudal de salida (m<sup>3</sup>/s).

C: Coeficiente de Chow

D: Diámetro de la tubería (m).

J: Perdida de carga unitaria (m/m).

Vs: Velocidad de salida (m/s).

hest: Carga estática.

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos, concluyendo en la tabla 74 con el caudal de salida, el cual se utilizará para determinar el tiempo de vaciado.

## Tabla 72

*Cálculo hidráulico de la tubería de desagüe en el desarenador.*

Parámetros	Valor	Unidad
Cota de descarga	2967,99	m.s.n.m.
Cota del nivel mínimo	2970,12	m.s.n.m.
Carga hidráulica disponible	2,1	mH2O
Diámetro de la tubería de desagüe	90	mm

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 73***Longitud equivalente en la tubería de desagüe del desarenador.*

Accesorio	Cantidad	LE (m)	Total
Tubería de desagüe	1	7	7
Entrada	1	3,5	3,5
Válvula de compuerta	1	0,30	0,3
Tee	1	5,20	5,2
Salida	1	6	6
LE TOTAL			18,55

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 74***Caudal de la tubería de salida en el desarenador.*

Parámetros	Valor	Unidad
Pérdida de Carga Unitaria	0,114	m/m
Coefficiente Chow	140	u
Caudal de salida	0,021	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de salida	3,379	m/s
Carga estática	0,582	m

Elaborado por: Los autores.

**4.4.16 Cálculo del tiempo de desagüe del desarenador.**

El tiempo de desagüe del desarenador se calcula con la fórmula de descarga de un orificio.

$$Q_s = C_d * A_o * \sqrt{2gH}$$

$$C_d = \frac{Q_s}{A_o * \sqrt{2gH}}$$

$$tvaciado = \frac{2 * A_s}{C_d * A_o * \sqrt{2g}} * H^{1/2}$$

Donde:

Qs: Caudal de salida (m<sup>3</sup>/s).

Cd: Coeficiente de descarga.

$A_o$ : área del orificio ( $m^2$ ).

$g$ : aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$H$ : distancia entre el nivel normal del agua y la mitad del orificio (m).

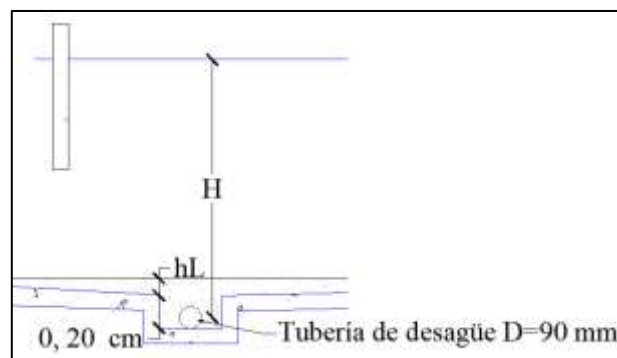
$A_s$ : área superficial del desarenador ( $m^2$ ).

$t_{vaciado}$ : tiempo de desagüe del desarenador (s).

En la figura 65 se puede visualizar los límites de la distancia entre el nivel normal del agua y la mitad del orificio; la tabla 75 presenta el tiempo de desagüe de una tubería de 90 mm de un desarenador con/sin pantalla deflectora.

### Figura 65

*Distancia entre el nivel normal del agua y la mitad del orificio.*



Elaborado por: Los autores.

**Tabla 75***Tiempo de desagüe. Desarenador sin/con pantalla deflectora.*

Tiempo de desagüe del desarenador sin/con pantalla deflectora			
	Sin pantalla deflectora		Con pantalla deflectora
Parámetro	Valor	Valor	Unidad
Aceleración de la gravedad	9,81		m/s <sup>2</sup>
Profundidad asumida	1,5		m
Altura de la zona de lodos	0,17	0,12	0
Altura de la cámara de lavado		0,2	0
Diámetro	0,09		m
Distancia entre el nivel normal del agua y la mitad del orificio	1,822	1,779	m
Área del orificio	0,006	0,006	m <sup>2</sup>
Coefficiente de descarga	0,565	0,572	
Área superficial del desarenador	6,300	3,486	m <sup>2</sup>
Tiempo de desagüe del desarenador	1068,20	2	s
Tiempo de desagüe del desarenador	18	0	min

Elaborado por: Los autores.

**4.4.17 Alternativa seleccionada para la ubicación y componentes del desarenador.**

La alternativa que más se ajusta a este tipo de proyecto de acuerdo la ubicación es la alternativa 2, descrita en la tabla 60, a su vez esta alternativa disminuye los costos de una futura construcción.

El pre diseño seleccionado es un desarenador horizontal, la zona de entrada está conformada por un vertedero de pared delgada en la cámara rectangular de entrada y un vertedero de pared delgada en la cámara rectangular de excesos, en la zona de sedimentación se presenta una pantalla deflectora horizontal con orificios circulares y a la salida de esta zona se ubica una vigueta que recolecta residuos que han a travesado obstáculos de la unidad, la zona de lodos tiene la forma de una tolva, permite un mantenimiento óptimo del desarenador y la última zona que es la de salida está conformada por un vertedero de pared delgada y una cámara rectangular.

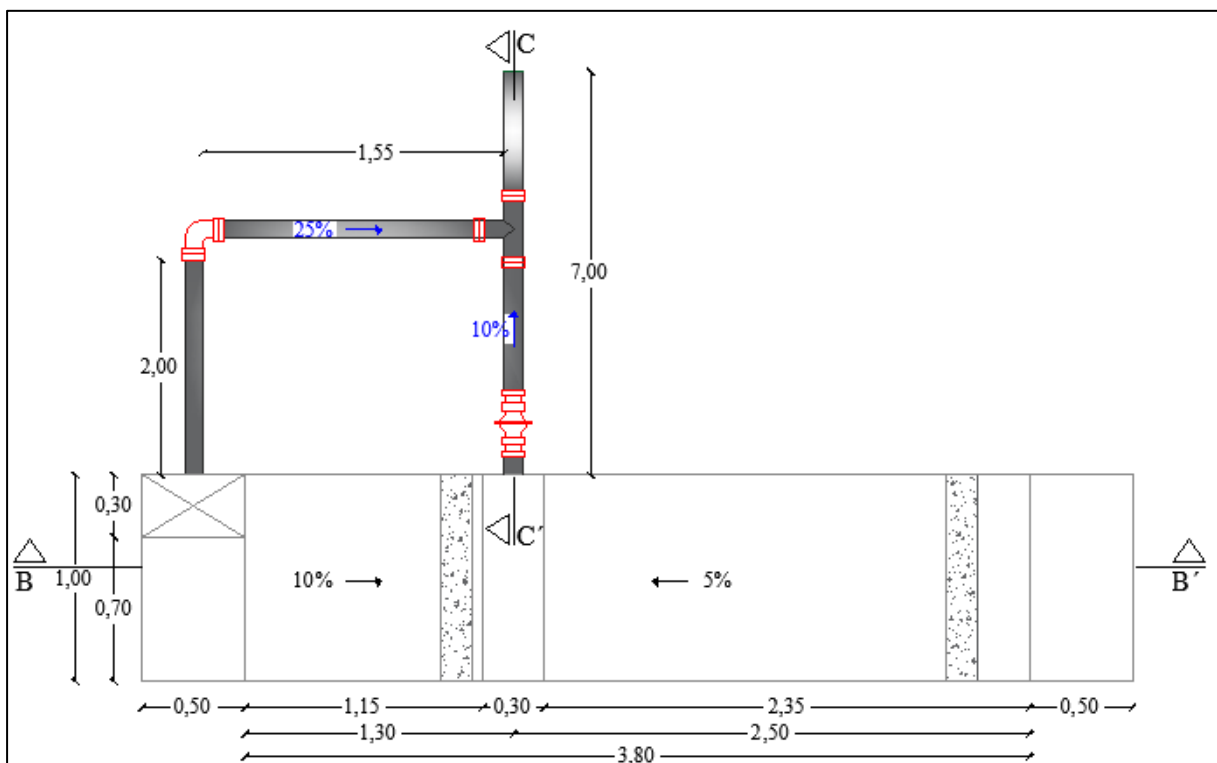
Cabe mencionar que la evacuación del caudal excedente y el flujo generado por limpieza del desarenador será hacia a la quebrada colindante del margen derecho.

#### 4.4.17.1 Cotas en el desarenador.

En la tabla 76 se muestran un resumen de las cotas presentes en el desarenador, la acotación, se inició a partir de la cota del terreno indicado en la alternativa dos de la tabla 60.

**Figura 66**

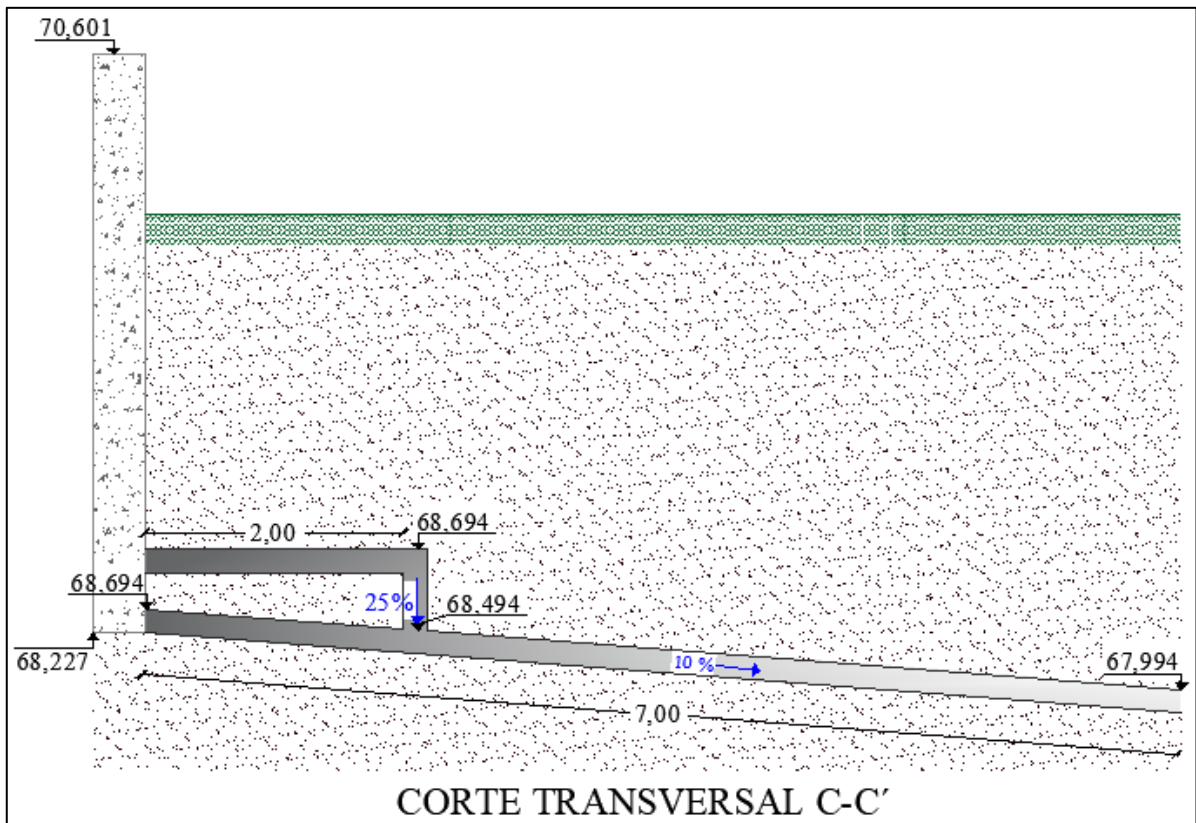
*Vista en planta. Desarenador con pantalla deflectora.*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 67**

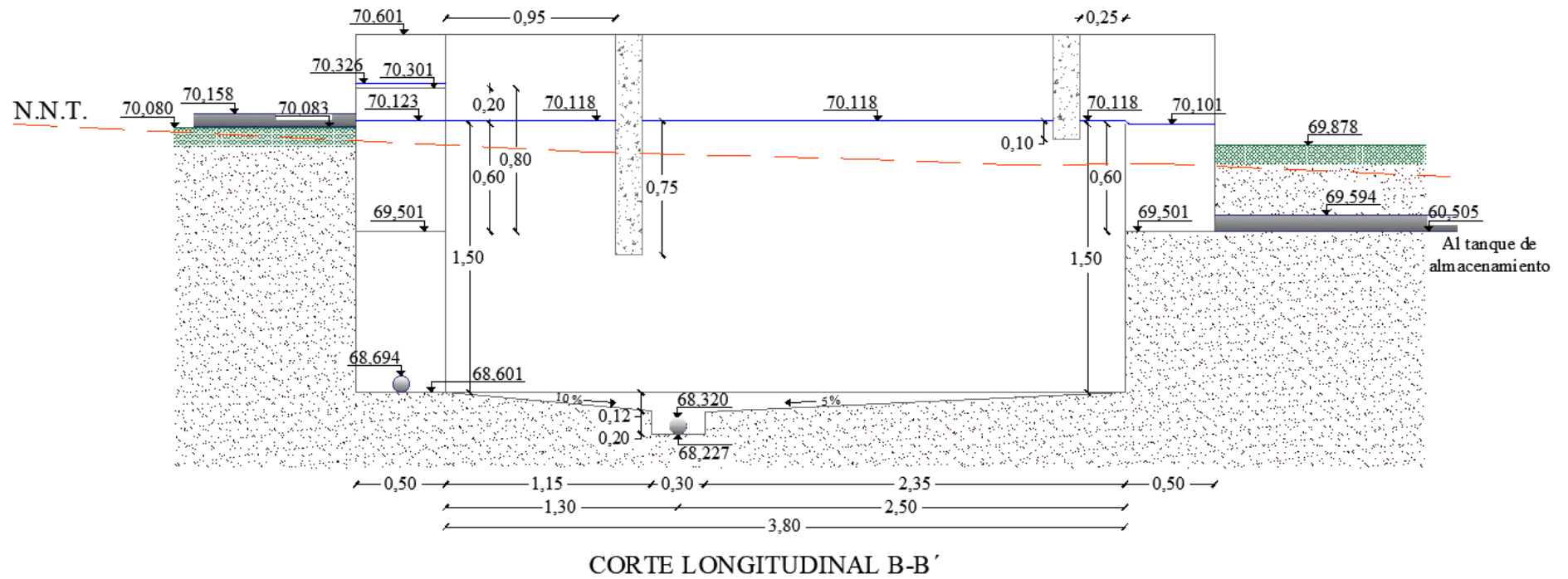
*Corte transversal. Desarenador con pantalla deflectora.*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 68**

*Corte longitudinal. Desarenador con pantalla deflectora.*



Elaborado por: Los autores.



**Tabla 76**

*Cotas presentes en el desarenador considerando la alternativa dos para la ubicación.*

Diámetros empleados (m)	
Diámetro tubería línea de aducción	0,075
Diámetro tubería de excesos	0,090
Diámetro tubería de salida	0,090
Cotas (m.s.n.m)	
Cota de la corona de los muros del sedimentador	2970,601
Cota del terreno a la entrada del desarenador	2970,080
Cota de la batea de la tubería de entrada	2970,083
Cota clave de la tubería de entrada	2970,158
Cota de la lámina de agua a la entrada	2970,123
Cota de la lámina de agua en la cámara de sedimentación	2970,118
Cota de la cresta vertedero de entrada	2970,101
Cota del fondo de la cámara de entrada	2969,501
Cota de la cresta vertedero de excesos	2970,301
Cota del fondo de la cámara de excesos	2968,601
Cota de la lámina de agua en la cámara de excesos	2970,326
Cota clave de la tubería de excesos	2968,694
Cota clave de la tubería de lavado en la cámara de lodos	2968,370
Cota del fondo de la cámara de lodos	2968,277
Cota de la lámina de agua en la cámara de salida	2970,101
Cota del fondo de la cámara de salida	2969,501
Cota del terreno a la salida del desarenador	2969,979
Cota de la batea de la tubería de salida	2969,505
Cota clave de la tubería de salida	2969,594
Cota clave de la tubería de entrega desagüe (supuesta)	2967,994

Elaborado por: Los autores.

#### **4.4.18. Diseño estructural.**

Para el diseño estructural del desarenador se asumió un tanque rectangular semienterrado, las pendientes del sedimentador son de 10% y 5% por tal razón se optó diseñar como un tanque. Se empleó el método recomendado por la PCA (Rectangular Concrete Tanks, 1998). La PCA elaboró tablas, aplicando la teoría de elementos finitos para tanques en el software SAP90, los resultados que podemos determinar son: momentos ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{yz}$ ) analizados en un plano bidimensional (X e Y), coeficientes de deflexión ( $C_d$ ) y coeficientes de corte ( $C_s$ ).

En el capítulo II en (Rectangular Concrete Tanks, 1998) se encuentran las tablas que dependen de las diferentes dimensiones y condiciones de apoyos del tanque, existen diez casos. Para entrar a estas tablas se debe conocer la relación: lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a).

Se utilizó el caso 4 y caso 9, los dos casos hacen referencia que las condiciones de apoyo del tanque son: borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, la variación entre los casos es el esfuerzo que actúa en el tanque, como se indica en las condiciones de carga.

#### **4.5.6.1. Condiciones de carga.**

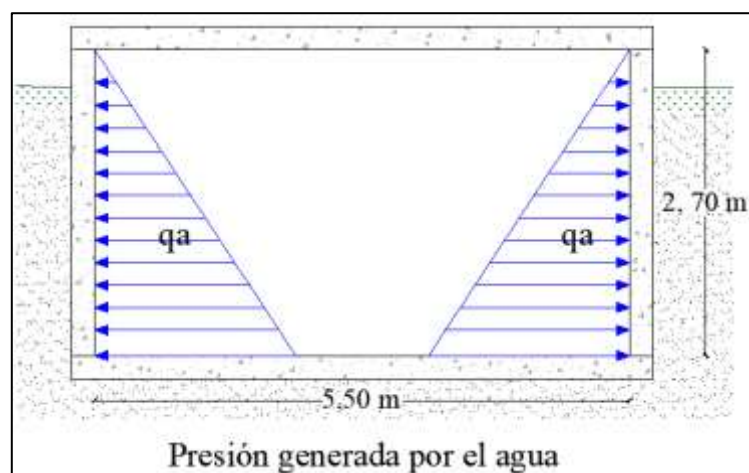
Las condiciones asumidas para el análisis de carga son las siguientes:

##### **4.5.6.1.1. Condición de carga N° 1: tanque lleno de líquido.**

El agua es el único factor que genera esfuerzos en las paredes de los muros, no se presenta empuje del suelo.

### **Figura 69**

*Condición de carga 1: tanque lleno de líquido.*

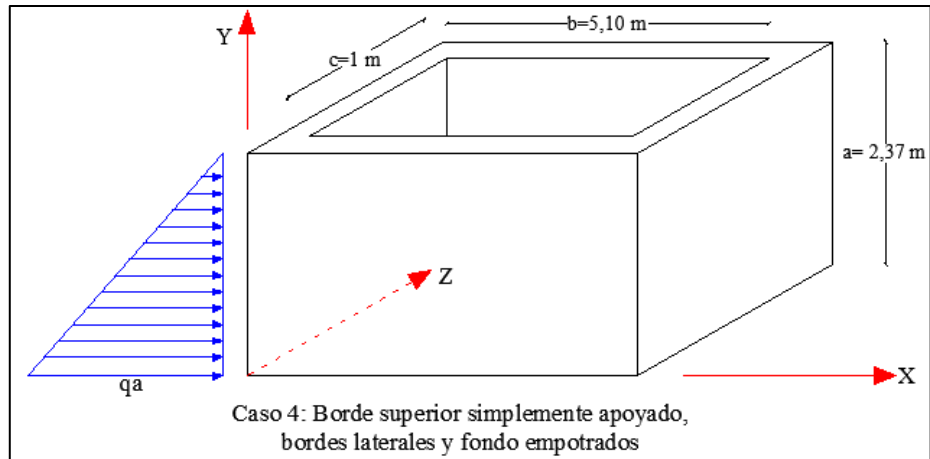


Elaborado por: Los autores.

Se utilizó el caso 4 descrito en (Rectangular Concrete Tanks, 1998) representa la condición de carga N°1, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 70**

*Caso 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados.*



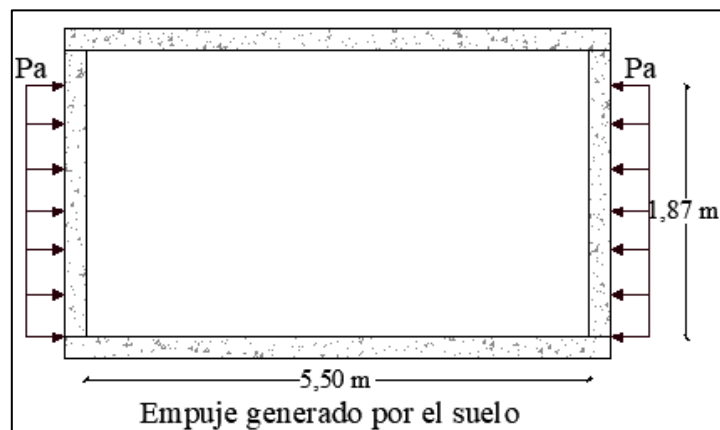
Elaborado por: Los autores.

*4.5.6.1.2. Condición de carga N° 2: tanque vacío, acción del suelo.*

Se presenta empuje del suelo en las paredes de los muros, en esta condición se asume que el tanque no tiene presencia de líquido.

**Figura 71**

*Condición 2: tanque vacío, acción del suelo.*

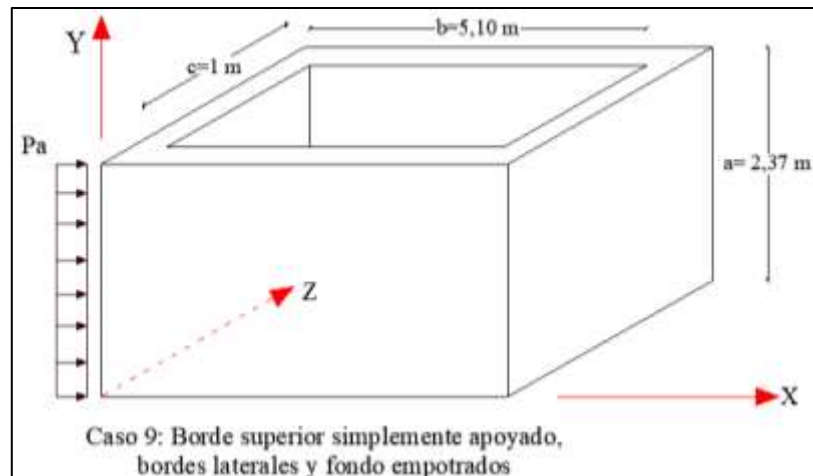


Elaborado por: Los autores.

Se utilizó el caso 9 descrito en (Rectangular Concrete Tanks, 1998) representa la condición de carga N°2, como se muestra en la siguiente figura.

### Figura 72

Caso 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados.



Elaborado por: Los autores.

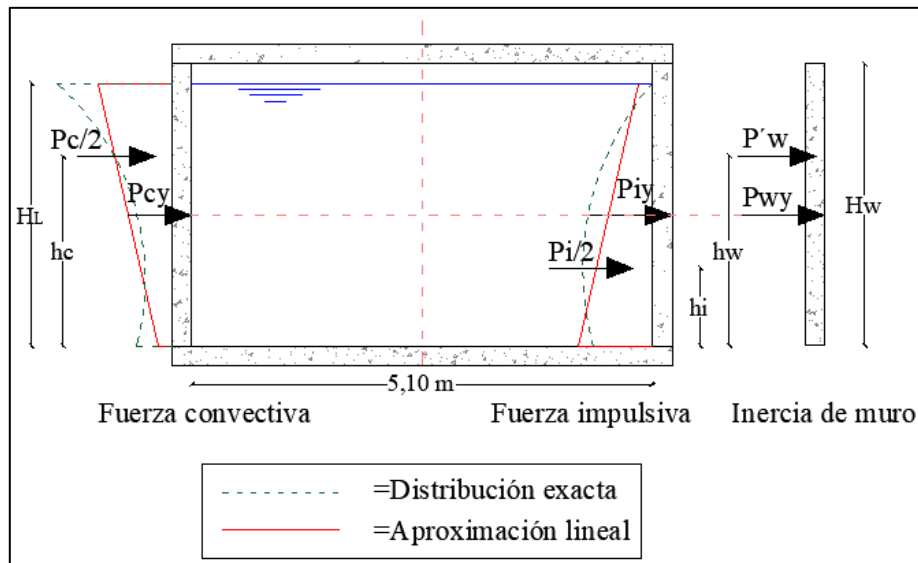
#### 4.5.6.1.3. Condición de carga N° 3: fuerzas dinámicas en el tanque.

Para realizar el diseño estructural con la acción de fuerzas sísmicas la (ACI 350.3, 2001) recomienda determinar la presión hidrodinámica total ( $P_y$ ) en el fondo del tanque, posterior se calcula la combinación de cargas mayoradas: estática y dinámicas.

Se verificó si el valor de la carga dinámica última ( $U_D$ ) es superior al valor de la carga estática última ( $U_E$ ), si se cumple esta condición se debe diseñar con la acción de las fuerzas dinámicas, caso contrario la estructura no se ve afectada por la acción de estas fuerzas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas. A continuación, se presenta un esquema de las fuerzas dinámicas en el tanque. (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016)

**Figura 73**

*Condición número 3: fuerzas dinámicas en el tanque.*



Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016).

#### **4.5.6.2. Acero colocado en los elementos del tanque desarenador.**

Seguidamente se presenta el acero colocado en los elementos, la memoria de cálculo estructural se presenta en el Anexo L.

##### **4.5.6.2.1. Muros del tanque desarenador.**

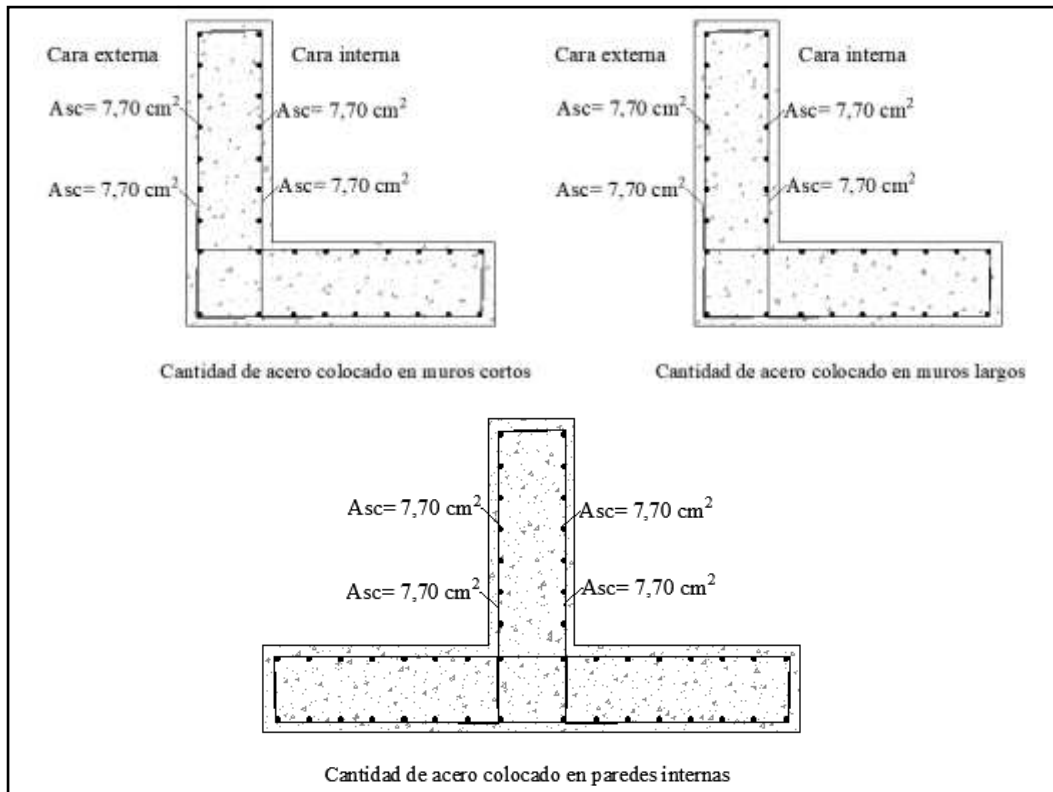
Según (ACI 350, 2006), el espesor de los muros de hormigón armado que contengan líquidos con una altura igual o superior a los 3 m debe ser 30 cm como mínimo. La altura del tanque es inferior a los 3 m, se asumió 20 cm para el espesor de muros exteriores y 15 cm para paredes internas en el tanque desarenador.

Para el refuerzo vertical y horizontal de las caras exteriores de los muros, los momentos de diseño corresponden a los valores máximos generados por la acción del suelo (Condición N° 2), mientras que para el refuerzo vertical y horizontal de las caras internas de los muros y para las paredes internas, los momentos de diseño resultan por la acción del agua (Condición N° 1)

Se realizó la verificación del cortante y flexión en los muros cortos y muros largos, posterior, se determinó el acero requerido y mínimo en los muros, por último, se calculó la cantidad de acero colocado como se indica en la siguiente figura.

**Figura 74**

*Cantidad de acero colocado en los muros y paredes internas.*



Elaborado por: Los autores.

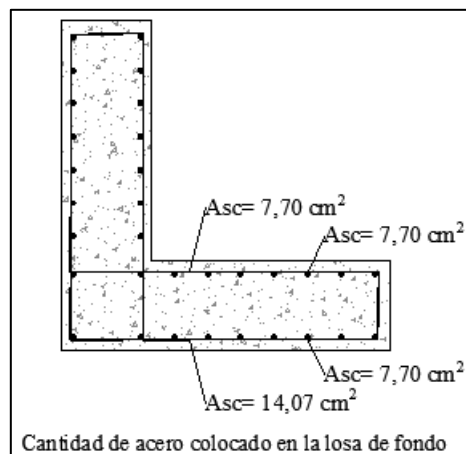
#### 4.5.6.2.2. Losa del fondo del tanque desarenador.

Se asumió un espesor de losa igual a los 20 cm.

Los momentos de diseño para el fondo del tanque corresponden a los momentos de la condición N°2, en la siguiente figura se muestra el acero colocado.

### Figura 75

Cantidad de acero colocado en la losa de fondo.



Elaborado por: Los autores.

#### 4.5.6.2.3. Losa tapa del tanque desarenador.

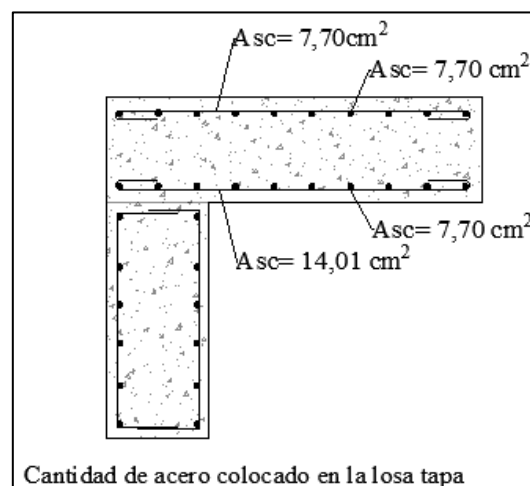
El espesor de la losa tapa es de 20 cm.

Para el diseño estructural se asumió que la losa tapa esta simplemente apoyada en la corona de los muros. La ecuación utilizada para el análisis de carga se indica a continuación:

$$U = 1,3 * (1,4D + 1,7L), \text{ (ACI 350, 2006)}$$

### Figura 76

Cantidad de acero colocado en la losa tapa



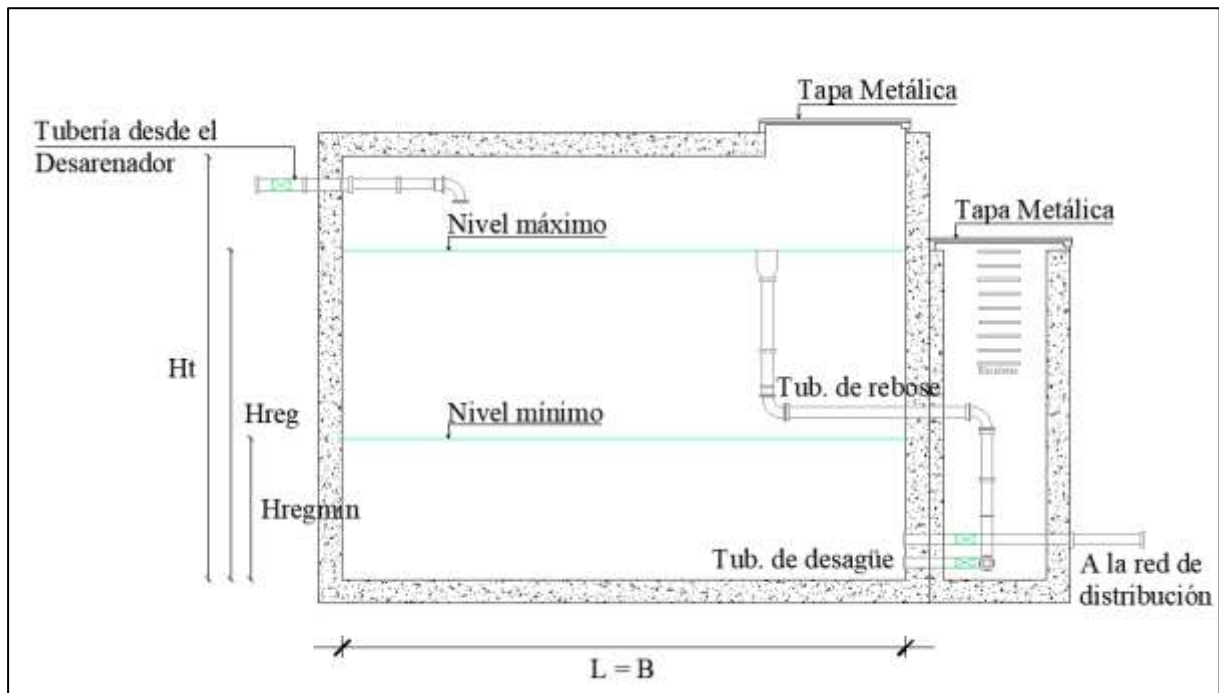
Elaborado por: Los autores.

## 4.5 Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento está diseñado para: mantener una reserva de agua en tiempos de estiaje, asegurar que las presiones en la red de distribución se encuentren dentro de los rangos permisibles.

**Figura 77**

*Tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores.

### 4.5.1. Localización del tanque.

Se proponen dos alternativas para ubicación del tanque de almacenamiento. La primera alternativa es la reconstrucción del tanque, el tanque mantiene su posición actual; la segunda alternativa es ubicar el tanque en un espacio libre, como se indica en la siguiente tabla:



**Tabla 77**

*Localización de tanque de almacenamiento.*

Alternativa	Coordenadas UTM		Cota del terreno (m.s.n.m)
	Norte	Este	
1	9920008,903	738626,922	2963
2	9919989,499	738783,557	2970,276

Elaborado por: Los autores.

**Figura 78**

*Alternativas de ubicación del tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores.

#### **4.5.2. Tipo de tanque.**

La alternativa contemplada para el proyecto es un tanque enterrado hasta la corona de los muros de forma rectangular, este tipo de tanque resulta ser eficiente en su operación y mantenimiento respecto con el tanque elevado.

#### **4.5.3. Dimensionamiento hidráulico del tanque de 126 m<sup>3</sup>.**

El volumen del tanque fue calculado en el Capítulo II.

Para el diseño hidráulico del tanque se aplicó los criterios de diseño establecidos en el libro (Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, págs. 275-284).

#### ***4.5.3.1. Profundidad del tanque.***

La profundidad mínima recomendada por norma para la profundidad del tanque es de 2,5 m (SENAGUA, 2014). El autor (López, 2003) propone determinar la profundidad del tanque con la siguiente ecuación:

$$H_c = \frac{V}{3} + k$$

Donde:

H<sub>c</sub>: profundidad (m).

V: capacidad del tanque (cientos de m<sup>3</sup>).

k: constante en función de la capacidad.

#### **Tabla 78**

*Constante de la capacidad del tanque de almacenamiento.*

V (cientos de m <sup>3</sup> )	k
< 3	2
4 - 6	1.8
7 - 9	1.5
10 - 13	1.3
14 - 16	1
> 17	0.7

Fuente: (López, 2003, pág. 276)

El resultado se presenta en la tabla 79.

En función de la capacidad requerida y la profundidad asumida del tanque, se determinó la base y longitud del mismo, mediante la siguiente ecuación:

$$B = L = \sqrt{\frac{V_{reg(a)}}{ha}}$$

Donde:

B: base del tanque (m)

L: longitud del tanque (m)

Vreg(a): volumen de regulación adoptado (m<sup>3</sup>).

Ha: profundidad adoptada del tanque (m).

El resultado se presenta en la tabla 79.

#### **4.5.3.2. Niveles de regulación.**

Los niveles de regulación corresponden a dos escenarios: el primero en el que el tanque se encuentre totalmente lleno, es decir llega al nivel máximo y el segundo en el que el tanque se encuentra en el nivel mínimo para seguir entregando caudal a la red de distribución.

El resultado se presenta en la tabla 79.

### **Tabla 79**

*Dimensionamiento y niveles de regulación del tanque de almacenamiento.*

Parámetros	Valor	Unidad
Base	4,5	m
Longitud	7	m
Profundidad adoptada	3,5	m
Profundidad de regulación	4	m
Borde Libre	0,5	m
Profundidad mínima de servicio	1,5	m
Cota clave de la tubería de llegada del desarenador	2969,594	m.s.n.m.
Cota del nivel máximo	2969,094	m.s.n.m.
Cota del nivel mínimo	2967,594	m.s.n.m.
Cota del fondo del tanque	2965,094	m.s.n.m.

Elaborado por: Los autores.

#### 4.5.3.3. Tubería de desagüe.

Se consideró los lineamientos de diseño dados en el libro (Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados, págs. 283-286); la tubería será de material PVC con una longitud aproximada de 11 metros.

La carga hidráulica disponible es la diferencia entre el nivel máximo del tanque y la cota de descarga de la tubería, con este valor se determinó la pérdida de carga unitaria.

A continuación, se indican las fórmulas utilizadas para el cálculo de la tubería de desagüe.

$$Q_s = 0,2785 * C * D^{2,63} * J^{0,54}$$

$$h_{est} = \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Qs: caudal de salida (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Chow

D: diámetro de la tubería (m).

J: pérdida de carga unitaria (m/m).

Vs: velocidad de salida (m/s).

hest: carga estática.

El resultado se presenta en la tabla 82.

La tubería de desagüe funciona como un orificio de descarga por tal razón se utilizan las siguientes ecuaciones para determinar el tiempo de vaciado del tanque.

$$Q_s = Cd * A_o \sqrt{2gH}; t = \left( \frac{2 * A_T}{Cd * A_o \sqrt{2g}} \right) * H^{1/2}$$

Donde:

t: tiempo de vaciado del tanque (s).

Cd: coeficiente de descarga.

A<sub>o</sub>: sección de la tubería (m<sup>2</sup>).

A<sub>T</sub>: sección de la base del tanque de almacenamiento (m<sup>2</sup>).

H: carga hidráulica disponible (m).

g: aceleración de la gravedad, se asumió el valor de 9,81 (m/s<sup>2</sup>).

El resultado se presenta en la tabla 83.

### Tabla 80

*Cálculo hidráulico de la tubería de desagüe del tanque de almacenamiento.*

Parámetro	Valor	Unidad
Cota de descarga	2965,09	m.s.n.m.
Carga hidráulica disponible	2,5	mH <sub>2</sub> O
Diámetro de la tubería de desagüe	90	mm
Área de la tubería de desagüe	0,006	m <sup>2</sup>

Elaborado por: Los autores.

### Tabla 81

*Longitud equivalente de la tubería de desagüe del tanque de almacenamiento.*

Accesorio	Cantidad	LE (m)	total
Tubería de desagüe	1	11	11
Entrada	1	3,5	3,5
Válvula de compuerta	1	0,30	0,3
Codo de 90°	1	1,5	1,5
Salida	1	6	6
LE TOTAL			22,3

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 82***Caudal de la tubería de salida del tanque de almacenamiento.*

Parámetro	Valor	Unidad
Pérdida de Carga Unitaria	0,112	m/m
Coefficiente Chow	140	u
Caudal de salida	0,0213	m <sup>3</sup> /s
Velocidad de salida	3,346	m/s
Carga estática	0,571	m

Elaborado por: Los autores.

**Tabla 83***Tiempo de vaciado del tanque de almacenamiento.*

Parámetro	Valor	Unidad
Coefficiente de descarga	0,404	-
Tiempo de vaciado	8767	s
Tiempo de vaciado	146	min

Elaborado por: Los autores.

Con una tubería de 90 mm de diámetro y 11 m de longitud, el tanque de almacenamiento puede ser vaciado en un tiempo de 146 minutos.

**4.5.3.3. Tubería de rebose.**

La tubería de rebose realiza la descarga del caudal excedente, cuando el nivel máximo del tanque se ve superado, esta tubería se conecta directamente con la tubería de desagüe, para determinar el diámetro requerido se utilizó la fórmula de Hazen Williams como se muestra a continuación:

$$Q_{dis} = 0,2787 * C * Dr^{2,63} * S^{0,54}$$

Donde:

Dr: diámetro de la tubería de rebose (m).

Q<sub>dis</sub>: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

C: coeficiente de Chow.

S: pendiente.

**Tabla 84**

*Cálculo del diámetro de la tubería de rebose.*

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de diseño	0,001	l/s
Pendiente	0,1	-
Coefficiente de Hazen Williams	140	-
Diámetro de la tubería de rebose	0,0324	m
Diámetro de la tubería de rebose	32,42	m
Diámetro de la tubería de rebose asumido	90	mm
Cono de rebose	90	mm

Elaborado por: Los autores.

Se optó por asumir un diámetro de 90 mm para el cono de rebose y tubería, igual al diámetro de tubería de desagüe.

La longitud de la tubería es de 5,20 m, se puede apreciar en la figura 79.

#### **4.5.4. Alternativa seleccionada para la ubicación y componentes del tanque de almacenamiento.**

La alternativa 2 presentada en la tabla 77, es la mejor ubicación que se plantea para el tanque almacenamiento, el costo y tiempo de la futura construcción disminuyen en comparación a la alternativa 1 (reconstrucción del tanque).

El pre diseño del tanque de almacenamiento está constituido por una cámara húmeda rectangular y una cámara seca para las válvulas.

De la misma forma la evacuación del caudal excedente y el flujo generado por limpieza del tanque de almacenamiento será hacia a la quebrada colindante del margen derecho.

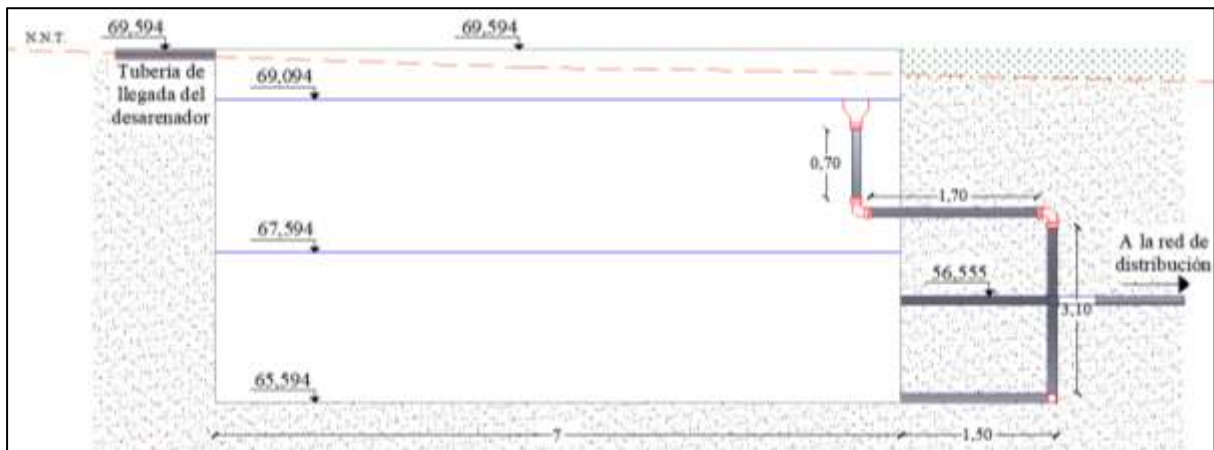
#### 4.5.4.1. Cotas en el tanque de almacenamiento.

En la tabla 85 se muestran un resumen de las cotas presentes en el tanque, la acotación, se inició a partir de la cota del terreno indicado en la alternativa dos de la tabla 77.

Para una mejor visualización de las cotas se presenta a continuación la figura 79 y 80.

**Figura 79**

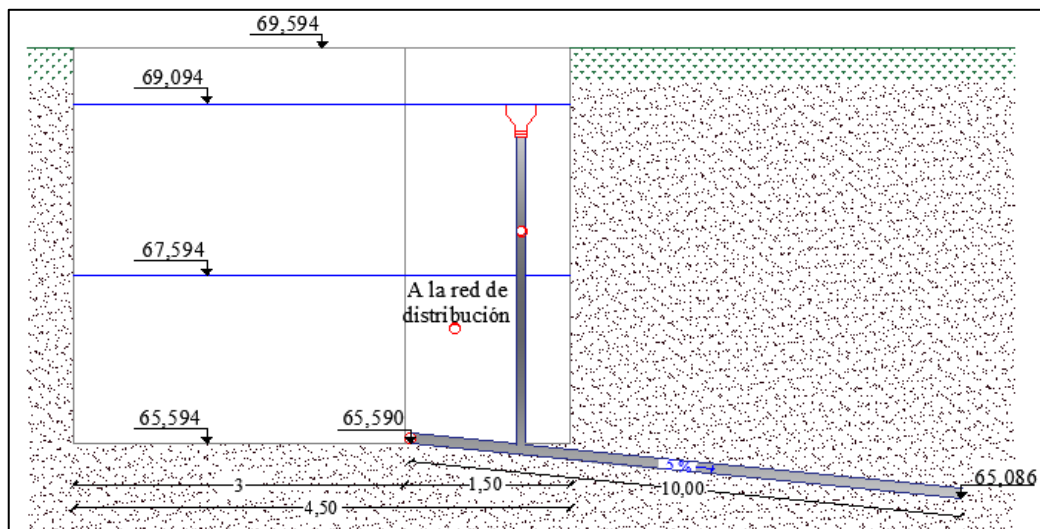
*Vista longitudinal del tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores.

**Figura 80**

*Vista transversal del tanque de almacenamiento.*



Elaborado por: Los autores.



**Tabla 85**

*Cotas en el tanque de almacenamiento.*

Cotas (m.s.n.m)	
Cota del terreno a la entrada del tanque	2969,594
Cota de descarga	2965,086
Cota de la corona de los muros del tanque	2969,594
Cota del nivel máximo	2969,094
Cota del nivel mínimo	2967,59
Cota de la batea de la tubería de desagüe	2965,098
Cota del Fondo del tanque	2965,094
Cota clave de la tubería para la red de distribución	2965,090

Elaborado por: Los autores.

#### **4.5.5. Diseño Estructural.**

Para diseño estructural del tanque se empleó el método recomendado por la PCA (Rectangular Concrete Tanks, 2001). La PCA elaboró tablas, aplicando la teoría de elementos finitos para tanques en el software SAP90, los resultados que podemos determinar son: momentos ( $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_{yz}$ ) analizados en un plano bidimensional (X e Y), coeficientes de deflexión ( $C_d$ ) y coeficientes de corte ( $C_s$ ).

En el capítulo II en (Rectangular Concrete Tanks, 2001) se encuentran las tablas que dependen de las diferentes dimensiones y condiciones de apoyos del tanque, existen diez casos. Para entrar a estas tablas se debe conocer la relación: lado largo entre la altura ( $b/a$ ) y lado corto entre la altura ( $c/a$ ).

Se utilizó el caso 4 y caso 9, los dos casos hacen referencia que las condiciones de apoyo del tanque son: borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, la variación entre los casos es el esfuerzo que actúa en el tanque, como se indica en las condiciones de carga.

La memoria de cálculo estructural se presenta en el Anexo O.

#### 4.5.5.1. Condiciones de carga.

Las condiciones asumidas para el análisis de carga son las siguientes:

##### 4.5.5.1.1. Condición de carga N° 1: tanque lleno de líquido.

El agua es el único factor que genera esfuerzos en las paredes de los muros, no se presenta empuje del suelo.

### Figura 81

Condición de carga 1: tanque lleno de líquido.

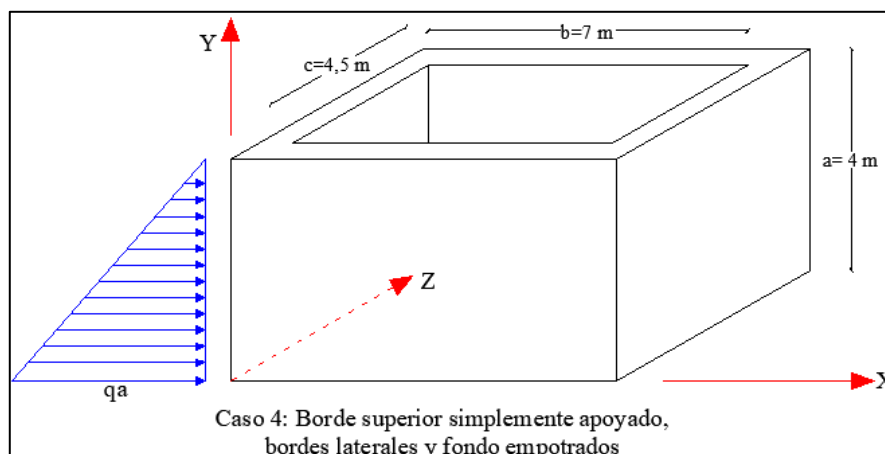


Elaborado por: Los autores.

Se utilizó el caso 4 descrito en (Rectangular Concrete Tanks, 2001) representa la condición de carga N°1, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 82**

*Caso 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados.*



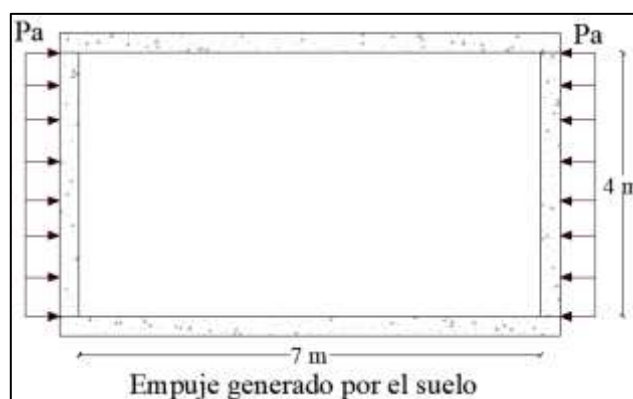
Elaborado por: Los autores.

*4.5.5.1.2. Condición de carga N° 2: tanque vacío, acción del suelo.*

Se presenta empuje del suelo en las paredes de los muros, en esta condición se asume que el tanque no tiene presencia de líquido.

**Figura 83**

*Condición 2: tanque vacío, acción del suelo.*

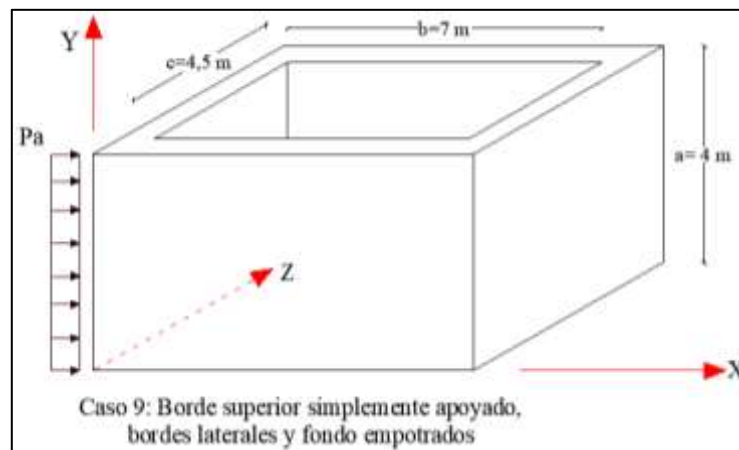


Elaborado por: Los autores.

Se utilizó el caso 9 descrito en (Rectangular Concrete Tanks, 2001) representa la condición de carga N °2, como se muestra en la siguiente figura.

## Figura 84

Caso 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados.



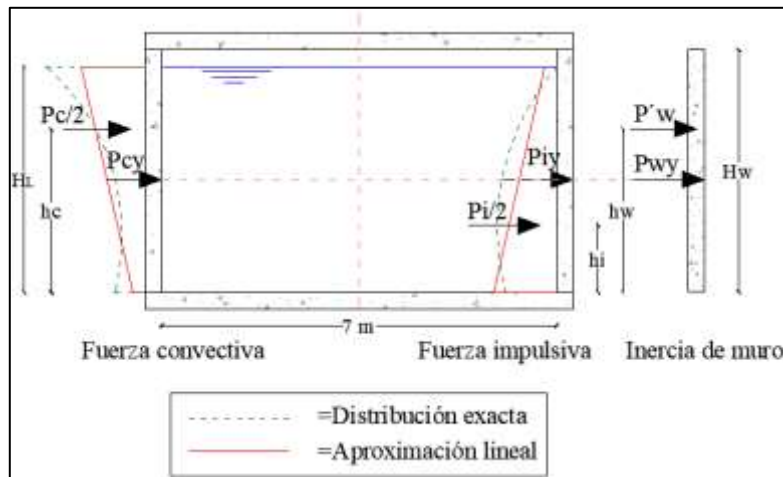
Elaborado por: Los autores.

### 4.5.5.1.3. Condición de carga N° 3: fuerzas dinámicas en el tanque.

Para realizar el diseño estructural con la acción de fuerzas sísmicas, se verificó si el valor de la carga dinámica última ( $U_D$ ) es superior al valor de la carga estática última ( $U_E$ ), si se cumple esta condición se debe diseñar con la acción de las fuerzas dinámicas, caso contrario la estructura no se ve afectada por la acción de estas fuerzas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas. A continuación, se presenta un esquema de las fuerzas dinámicas en el tanque. (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016)

**Figura 85**

*Condición número 3: fuerzas dinámicas en el tanque.*



Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016).

#### **4.5.5.2. Acero colocado en los elementos del tanque.**

##### **4.5.5.2.1. Muros del tanque.**

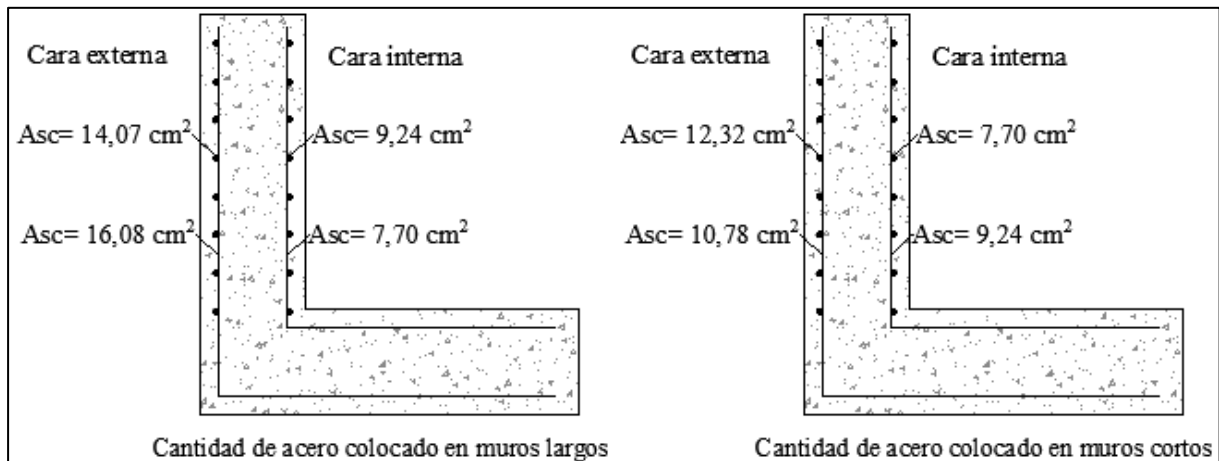
Según (Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary (ACI 350-06)), el espesor de los muros de hormigón armado que contengan líquidos con un altura igual o superior a los 3 m debe ser 30 cm como mínimo.

De las tres condiciones de carga, se tomó los momentos más críticos, estos momentos de diseño se presentaron en la condición de carga N° 2: tanque vacío, acción del suelo, la memoria de cálculo se presenta en el Anexo O.

Se realizó la verificación del cortante y flexión en los muros cortos y muros largos, posterior, se determinó el acero requerido y mínimo en los muros, por último, se calculó la cantidad de acero colocado como se indica en la siguiente figura.

**Figura 86**

*Cantidad de acero colocado en los muros.*



Elaborado por: Los autores.

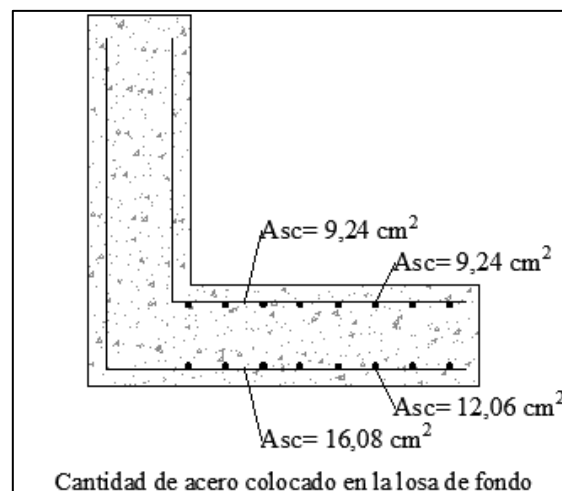
*4.5.5.2.2. Losa del fondo del tanque.*

Se asumió un espesor de losa igual a los 30 cm.

Los momentos de diseño para el fondo del tanque corresponden a los momentos de la condición N° 2, el cálculo del resultado del acero colocado como se muestra en la siguiente figura esta descrito en el Anexo O.

**Figura 87**

*Cantidad de acero colocado en la losa de fondo.*



Elaborado por: Los autores.

#### 4.5.5.2.3. Losa tapa del tanque.

Se asume un espesor de losa igual a 20 cm. Todo el proceso para el cálculo del armado se encuentra en el Anexo O.

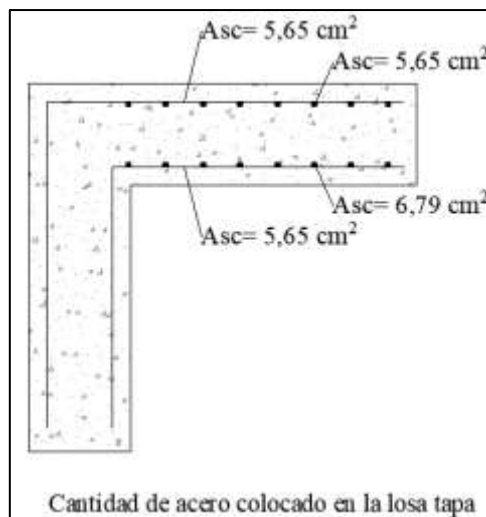
Para el diseño estructural se asumió que la losa tapa esta simplemente apoyada en la corona de los muros. La ecuación utilizada para el análisis de carga se indica a continuación:

$$U = 1,2D + 1,6L$$

En la figura 88. se presenta la cantidad de acero colocado.

### Figura 88

*Cantidad de acero colocado en la losa tapa*



Elaborado por: Los autores.

## 4.6. Tratamiento de agua cruda

En el estudio de calidad de agua aplicado a la fuente de abastecimiento entregados por parte de la comuna, se determinó que no se requiere de una estructura adicional para el tratamiento de agua, sin embargo, la (Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua LIBRO VI ANEXO 1) indica que únicamente se requiere desinfección.

La desinfección puede darse por métodos físicos o químicos, descritos en la siguiente tabla.

**Tabla 86**

*Principales métodos de desinfección.*

Métodos físicos	Métodos químicos
Filtración	Yodo
Temperatura	Bromo
Sedimentación	Plata ionizada
Radiación (solar, luz UV, Gamma)	Ozono
Procesos electrolíticos	Cloro

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Como método físico se utilizó el desarenador, el cual está encargado de la sedimentación de partículas de arena y sólidos suspendidos, el pre diseño propuesto se encuentra descrito en el numeral 4.4.17.

#### **4.6.1. Desinfección por cloro.**

##### ***4.6.1.1. Ventaja y desventajas del uso del cloro.***

Como ventajas del uso de cloro están:

- Económico y disponible en el mercado nacional.
- Su presentación es variable (gas, líquido y solido) y su aplicación es sencilla.
- Mantiene sus efectos residuales en la red de distribución.

Como desventajas del uso de cloro están:

- Generan mayor deterioro en las estructuras de hormigón.
- Libera compuestos orgánicos volátiles
- La dosis aplicada para destruir coliformes puede no ser suficiente para eliminar virus



#### **4.6.1.2. Eficiencia de la desinfección.**

##### *4.6.1.2.1. Tiempo de contacto.*

Es el tiempo necesario en que el cloro debe estar en contacto con los micro organismos para que estos puedan ser eliminados.

##### *4.6.1.2.2. Temperatura.*

Los microorganismos que pueden estar presentes en el agua pueden vivir en un rango de temperatura muy amplio, por lo que se requiere de temperaturas altas para eliminar bacterias y virus, al mismo tiempo el cloro es más estable en agua fría por esta razón la reacción del desinfectante es mucho más lenta.

##### *4.6.1.2.3. pH del agua.*

El potencial hidrógeno del agua afecta tanto al patógeno a eliminar como al tipo de desinfectante de cloro a emplear; se debe verificar el pH óptimo de acción del desinfectante a utilizar para poder determinar su dosis adecuada.

#### **4.6.1.3. Concentración del cloro.**

Un criterio usualmente utilizado es agregar suficiente cantidad de cloro al agua como para conseguir que en cualquier punto de la red de distribución se encuentre un residual de 0,1 mg/l a 0,5 mg/l (SENAGUA, 2014).

##### *4.6.1.4. Cálculo del peso del producto.*

Para el cálculo del peso del producto (hipoclorito de calcio) en gramos a disolver en el tanque, se usa la siguiente fórmula para potabilización del agua para consumo humano en poblaciones pequeñas del área rural.

$$P = \frac{C \times V}{\% \times 10}$$

Donde:

P: peso del hipoclorito de calcio a disolver en el tanque (g).

C: concentración de cloro aplicada (mg/l).

V: volumen de agua del tanque a desinfectar (l).

%: Porcentaje de cloro libre del compuesto clorado.

La marca Chloramine disponible en el mercado nacional establece el hipoclorito de calcio al 70 % de cloro activo.

$$P = \frac{0,5 \times 110250}{70 \times 10}$$

$$P = 78,75 \text{ g}$$

#### ***4.6.1.5. Tiempo de contacto.***

Este método parte del principio de que la concentración “C” de desinfectante aplicado (cloro libre) multiplicada por el tiempo de detención “t” desde que se aplica dicha dosis hasta que se consume el agua, es igual a una constante “K”, o sea que:

$$C \cdot t = K$$

Los valores de la constante K están dados en tablas de las (Normas De Diseño De Sistemas De Agua Potable Para La EMMAP-Q, 2008), los cuales varían con el pH, la temperatura del agua, la eficiencia del tratamiento en los procesos previos a la desinfección (sedimentación y filtración) y si la turbiedad del agua filtrada se mantiene durante el 95% del tiempo menor a 1,0 NTU se utiliza la tabla 87.

**Tabla 87***Valores de K*

C DOSIS DE CLORO APLICADA (mg/l)	10°C				15°C				20°C				25°C			
	pH				pH				pH				pH			
	6.5	6.5	7.0	7.5	6.5	6.5	7.0	7.5	6.5	6.5	7.0	7.5	6.5	6.5	7.0	7.5
< 0,4	24	29	35	42	16	20	23	28	12	15	17	21	8	10	12	14
0.6	25	30	36	43	17	20	24	29	13	15	18	21	8	10	12	14
0.8	26	31	37	44	17	20	24	29	13	15	18	22	9	10	12	15
1	26	31	37	45	18	21	25	30	13	16	19	22	9	10	12	15
1.2	27	32	38	46	18	21	25	31	13	16	19	23	9	11	13	15
1.4	27	33	39	47	18	22	26	31	14	16	19	23	9	11	13	16
1.6	28	33	40	48	19	22	26	32	14	17	20	24	9	11	13	16
1.8	29	34	41	49	19	23	27	33	14	17	20	25	10	11	14	16
2	29	35	41	50	19	23	28	3	15	17	21	25	10	12	14	17
2.2	30	35	42	51	20	23	28	34	15	18	21	26	10	12	14	17
2.4	30	36	43	52	20	24	29	35	15	18	22	26	10	12	14	17
2.6	31	37	44	53	20	24	29	36	15	18	22	27	10	12	15	18
2.8	31	37	45	54	21	25	30	36	16	19	22	27	10	12	15	18
3	32	38	46	55	21	25	30	37	16	19	23	28	11	13	15	18

Fuente: (EMAAP-Q, 2008, págs. 126-129)

Para un pH de 7,04 con temperatura de 10 °C y una turbiedad de 0,65 NTU, el valor de K es de 35,5

$$t = \frac{K}{C}$$

$$t = \frac{35,5}{0,5}$$

$$t = 70 \text{ min}$$

El tiempo de contacto mínimo para eliminar cualquier agente patógeno es de 70 minutos.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LA PROPUESTA

El análisis técnico - económico trata de establecer la inversión, costos y utilidad que generara el proyecto para poder determinar su factibilidad. Cualquier proyecto tiene una programación de gastos y utilidades que se reflejan en su presupuesto, su financiamiento y su operación. El análisis técnico - económico es un recurso valido para mejorar la gestión del capital económico del proyecto.

#### 5.1. Presupuesto

Es el cálculo y asignación de recursos en el proyecto considerando todos los rubros necesarios para su ejecución y culminación, además es un instrumento que direcciona los gastos durante la fase de construcción.

Para determinar el presupuesto del *“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS”* se debe analizar el precio unitario y los volúmenes de obra de cada rubro presente en el proyecto, el presupuesto detallado se encuentra en el Anexo P.

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto total de proyecto considerando los rubros generales que engloban todo el proyecto:

**Tabla 88***Resumen del presupuesto.*

Rubro	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Captación	1	6597,42	1	6597,42
Línea de aducción	1	38947,51	1	38947,51
Cruce aéreo	1	6152,34	1	6152,34
Cámara rompe presión	5	1130,05	5	5650,24
Desarenador	1	13331,07	1	13331,07
Tanque de almacenamiento	1	55974,41	1	55974,41
Costo total del proyecto				126652,99

Elaborado por: Los autores

**5.1.1. Costos directos.**

Los costos directos son gastos esenciales sin los cuales no se puede llevar a cabo un proyecto, comprenden: materiales, servicios básicos, herramientas, equipos, maquinaria, personal técnico y mano de obra, necesarios para la ejecución de todos los rubros indicados en el presupuesto de obra.

**5.1.2. Costos indirectos.**

Son gastos de los que dependiendo el tipo de obra se puede prescindir o no de los mismos, estos gastos incluyen: dirección y administración técnica del proyecto, imprevistos, gastos publicitarios y de comunicación, transporte de personal y maquinaria, representan el 20 % del presupuesto total del proyecto.

**5.1.3. Análisis de Precios Unitarios.**

El análisis de precios unitarios es un estudio a profundidad de cada rubro que se ejecutará en el proyecto, plantea los elementos como: equipos, maquinaria, herramientas y personal insustituible para llevar a cabo el rubro.

Se llevó a cabo el análisis de los distintos factores que influyen en cada uno de los elementos del APU, estos factores son: tarifas de alquiler de maquinarias y equipos, rendimiento de personal técnico, maquinarias y equipos, cantidad de materiales necesarios para ejecutar la unidad (m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, global, etc.) del rubro.

El análisis se lo realizó con los precios de compra y venta que existen en el mercado al mes de septiembre de 2020.

Se colocó un valor de 20 % como costos indirectos para la ejecución de cada rubro debido a los imprevistos que se puedan generar en el proyecto, los honorarios de profesionales adicionales que se pueda requerir y el transporte de maquinaria, equipos y materiales hacia el sitio del proyecto.

En el Anexo Q se encuentran los APU utilizados para generar el presupuesto.

#### **5.1.4. Volúmenes de obra.**

Es el cálculo de las cantidades de obra a ejecutar durante la fase de construcción del proyecto, para obtener los volúmenes de cada componente del sistema de conducción propuesto, se utilizó los planos del proyecto indicados en el Anexo S.

Los volúmenes de obra se encuentran en el Anexo P.

#### **5.1.5. Costos de operación y mantenimiento.**

Son los gastos anuales requeridos por el sistema de conducción para su operación eficiente y segura, estos gastos incluyen: materiales, equipos, insumos, administración, etc.; a continuación, se detallan estos gastos:

**Tabla 89***Costos de operación y mantenimiento anual.*

Parámetro	Requerimientos operativos anuales			
	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Costo anual (\$)
Hipoclorito de calcio	80,63	kg/año	2.48	199,96
Herramientas y equipos	1	Glb	454.14	454,14
Análisis de agua	1	Glb	25	25,00
Costo administrativo	1	Glb	3720.00	3720,00
Costos de mantenimiento	1	Glb	1460.00	1460,00
Costo total anual (\$)				5859,09

Elaborado por: Los autores

Las tablas con los parámetros desglosados se encuentran en el Anexo R.

**5.2. Evaluación financiera****5.2.1. Ingresos por la dotación del servicio.**

Para el cálculo de los ingresos que debe generar la dotación del servicio se utilizó los valores establecidos por el gobierno autónomo descentralizado del cantón Sigchos a través de la ordenanza N° 66 de 2019, donde establece un valor mínimo fijo mensual de un dólar y cincuenta centavos de dólar por el servicio de agua potable y gastos administrativos.

**Tabla 90***Ingresos por tarifa mínima de servicio*

Periodo	Año	Población de diseño (hab.)	Ingreso anual por la venta del servicio (\$)
0	2020	542	9756,00
1	2021	542	9756,00
2	2022	548	9864,00
3	2023	553	9954,00
4	2024	559	10062,00
5	2025	565	10170,00
6	2026	570	10260,00
7	2027	576	10368,00
8	2028	582	10476,00
9	2029	587	10566,00
10	2030	593	10674,00
11	2031	599	10782,00
12	2032	605	10890,00
13	2033	611	10998,00
14	2034	617	11106,00
15	2035	624	11232,00
16	2036	630	11340,00
17	2037	636	11448,00
18	2038	642	11556,00
19	2039	649	11682,00
20	2040	655	11790,00
21	2041	662	11916,00

Elaborado por: Los autores

**5.2.2. Ingresos por los beneficios a la población.**

Los ingresos por beneficios a la población se reflejarán positivamente en la reducción de gastos en salud. Como resultado de las encuestas realizadas a una muestra de la población se evidenció que el 43 % gasta al menos 50 dólares anuales en su salud, tanto que el 7 % no genera gastos.

Con el 7 % se encuentra la población que genera gastos mayores a los 300 dólares anuales.



**Figura 89**

*Gastos anuales en salud de la población.*



Elaborado por: Los autores

Los beneficios por gastos de salud se presentan en la siguiente tabla, donde la población que ha presentado enfermedades estomacales representa el 37 % de la población encuestada.

**Tabla 91**

*Beneficios en la salud de la comuna.*

Periodo	Año	Población de diseño (hab.)	Población que ha presentado enfermedades estomacales (hab.)	Ahorro en salud (\$)
0	2020	542	201	2493,27
1	2021	542	201	2493,27
2	2022	548	203	2518,08
3	2023	553	205	2542,89
4	2024	559	207	2567,70
5	2025	565	210	2604,91
6	2026	570	211	2617,31
7	2027	576	214	2654,53
8	2028	582	216	2679,33
9	2029	587	218	2704,14
10	2030	593	220	2728,95
11	2031	599	222	2753,76
12	2032	605	224	2778,57
13	2033	611	227	2815,78
14	2034	617	229	2840,59
15	2035	624	231	2865,40
16	2036	630	234	2902,61
17	2037	636	236	2927,42
18	2038	642	238	2952,23
19	2039	649	241	2989,44
20	2040	655	243	3014,25
21	2041	662	245	3039,06

Elaborado por: Los autores.

Otro beneficio valorado se presenta en las empresas comunitarias de producción de vino, se tendrá una producción sin interrupción del servicio de agua durante todo el año, en la tabla a continuación se indica el beneficio anual de esta producción.

**Tabla 92**

*Beneficios para empresas comunitarias de vino.*

Producción mensual de vino	Producción anual de vino	Precio de la botella de vino	Beneficio anual
800	9600	8	76800,00

Fuente: Administradores de las empresas comunitarias de vino.

### **5.2.3. Flujo de caja.**

El flujo de caja es una herramienta que permite identificar el periodo de recuperación de la inversión del proyecto y la toma de decisiones para realizar ajustes de liquidez en caso de presentarse déficit de capital.

Considerando los ingresos y egresos anuales del proyecto se elaboró el flujo de caja clasificado para un periodo de 20 años, correspondiente al periodo de diseño del sistema de conducción

**Tabla 93***Flujo de caja*

Periodo	Año	Beneficios					Egresos			
		Costo por la venta del servicio	Ahorro en salud	Beneficio de la venta de vino	Beneficio total	Inversión	Operación y Mantenimiento	Egreso total	Depreciación	Flujo neto de fondos
0	2020	0.00	0	0.00	0.00	126694.93	0	126694.93	0	-126694.93
1	2021	156.21	2557.2	57600.00	60313.41	0	5859.09	5859.09	6334.7	48119.57
2	2022	157.92	2557.2	57600.00	60315.12	0	5995.02	5995.02	6334.7	47985.35
3	2023	159.63	2621.13	57600.00	60380.76	0	6134.11	6134.11	6334.7	47911.91
4	2024	161.34	2621.13	57600.00	60382.47	0	6276.42	6276.42	6334.7	47771.30
5	2025	163.05	2685.06	57600.00	60448.11	0	6422.03	6422.03	6334.7	47691.33
6	2026	164.76	2685.06	57600.00	60449.82	0	6571.02	6571.02	6334.7	47544.05
7	2027	166.47	2748.99	57600.00	60515.46	0	6723.47	6723.47	6334.7	47457.24
8	2028	168.18	2748.99	57600.00	60517.17	0	6879.46	6879.46	6334.7	47302.97
9	2029	169.89	2748.99	57600.00	60518.88	0	7039.06	7039.06	6334.7	47145.08

10	2030	171.6 0	2812. 92	57600. 00	60584. 52	0	7202.37	7202.37	6334.7	47047.4 1
11	2031	173.3 1	2812. 92	57600. 00	60586. 23	0	7369.46	7369.46	6334.7	46882.0 3
12	2032	175.0 2	2876. 85	57600. 00	60651. 87	0	7540.43	7540.43	6334.7	46776.6 9
13	2033	176.7 3	2876. 85	57600. 00	60653. 58	0	7715.37	7715.37	6334.7	46603.4 7
14	2034	178.4 4	2940. 78	57600. 00	60719. 22	0	7894.37	7894.37	6334.7	46490.1 1
15	2035	180.1 5	2940. 78	57600. 00	60720. 93	0	8077.52	8077.52	6334.7	46308.6 7
16	2036	181.8 7	2940. 78	57600. 00	60722. 65	0	8264.92	8264.92	6334.7	46122.9 8
17	2037	183.5 8	3004. 71	57600. 00	60788. 29	0	8456.66	8456.66	6334.7	45996.8 8
18	2038	185.2 9	3004. 71	57600. 00	60790. 00	0	8652.86	8652.86	6334.7	45802.3 9
19	2039	187.0 0	3068. 64	57600. 00	60855. 64	0	8853.60	8853.60	6334.7	45667.2 9
20	2040	188.7 1	3068. 64	57600. 00	60857. 35	0	9059.01	9059.01	6334.7	45463.5 9

Elaborado por: Los autores.

#### 5.2.4. Indicadores económicos.

La viabilidad económica del proyecto está en función de tres indicadores: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación beneficio/costo (B/C).

Se utilizó una tasa de interés referencial actual del 8,34 % destinada para inversión pública, de acuerdo al Banco Central del Ecuador, noviembre 2020.

#### Tabla 94

*Indicadores económicos*

Tasa de descuento	8,34 %
VAN	607692,67 \$
TIR	61 %
B/C	4,80

Elaborado por: Los autores.

El Valor Actual Neto positivo, la Tasa Interna de Retorno superior a la tasa de interés y la relación beneficio costo mayor a la unidad indican que el proyecto es viable.

## CAPÍTULO VI

### IMPACTO AMBIENTAL

#### 6.1. Generalidades

Un proyecto para el transporte de agua cruda desde una fuente natural, involucra varios cambios en el entorno natural donde va a ser implementado, sin embargo, el impacto sobre la naturaleza y la población del lugar será distinto, pues existirán estructuras del sistema que generarán mayores daños y problemas al ambiente mientras que con la gente del lugar serán cambios positivos que mejoren su calidad de vida.

Todos estos cambios son impactos que deben ser identificados, valorados y clasificados para establecer un plan de mitigación y prevención de los mismos durante sus dos etapas de alcance del presente proyecto.

#### 6.2. Descripción de las actividades del proyecto

##### 6.2.1. Etapa de construcción

La etapa de construcción constituye todos los rubros necesarios para poner en operación *“EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS”*, en la tabla mostrada a continuación se han agrupado estos rubros para una mejor comprensión:

**Tabla 95**

*Actividades durante la fase de construcción.*

Actividades	
Nº	Fase de construcción
1	Replanteo y nivelación
2	Limpieza del terreno
3	Excavaciones con maquinaria pesada
4	Transporte y almacenamiento de materiales
5	Construcción de estructuras hidráulicas
6	Instalación de tuberías
7	Relleno y compactación

Elaborado por: Los autores.

#### ***6.2.1.1. Descripción de las actividades.***

##### *Replanteo y nivelación.*

Consiste en todos los trabajos de topografía necesarios para establecer todos los puntos necesarios para ubicar de forma correcta todas las estructuras del proyecto y sus linderos.

##### *Limpieza del terreno.*

Consiste en eliminar del terreno la maleza, basura y obstáculos existentes para poder ejecutar los demás rubros referentes al movimiento de tierras.

##### *Excavaciones con maquinaria pesada.*

Esta actividad trata los movimientos de tierra necesarios para llegar a la cota de ubicación de cada estructura hidráulica del proyecto.

##### *Transporte y almacenamiento de materiales*

Consiste en el traslado de maquinaria, equipos e insumos de abastecimiento necesarios durante la etapa de construcción para completar cada rubro del proyecto.

##### *Construcción de estructuras hidráulicas.*

Reside en la ejecución de todas las obras civiles para construir cada una de las estructuras hidráulicas, es decir el armado y fundición de losas, muros, cimentaciones y columnas.

### *Instalación de tuberías.*

Radica en la colocación de tuberías y accesorios de la línea de aducción y las estructuras hidráulicas en su ubicación adecuado.

### *Relleno y compactación.*

Son trabajos de colocación y compactación del suelo sea este del mismo sitio del proyecto de donde se retiró, o material seleccionado de alguna cantera cercana para completar el trabajo de relleno.

## **6.2.2. Etapa de operación y mantenimiento.**

La etapa de operación y mantenimiento constituye todos los trabajos que se requieren para que “*EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS*”, mantenga una operación normal durante toda su vida útil, en la tabla mostrada a continuación se han agrupado estos rubros para una mejor comprensión:

**Tabla 96**

*Actividades durante la etapa de operación y mantenimiento.*

Actividades	
Nº	Fase de operación y mantenimiento
1	Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas
2	Limpieza y mantenimiento de senderos de línea de aducción
3	Operación del sistema de agua potable.

Elaborado por: Los autores.

### **6.2.2.1. Descripción de las actividades.**

#### *Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas.*

Son el conjunto de trabajos en las estructuras hidráulicas para que estas no presenten desperfectos durante su operación



### *Limpieza y mantenimiento de senderos de línea de aducción.*

Es el conjunto de actividades para mantener abiertos los senderos hacia cada una de las estructuras hidráulicas y sobre la línea de aducción, con el fin de permitir el paso del personal y equipos.

### *Operación del sistema de agua potable.*

Se refiere al conjunto de procesos necesarios para captar, transportar y almacenar agua cruda que se convertirá en agua apta para el consumo humano.

## **6.3. Diagnóstico ambiental – línea base**

### **6.3.1. Criterios metodológicos.**

La línea base permite definir el Plan de Manejo Ambiental a través de la caracterización de sus componentes, además de ser información principal y única para las fases operativas; al inicio de una nueva fase se realizarán modificaciones necesarias, de acuerdo a las condiciones y el área donde se llevarán a cabo las operaciones, ya sea por una actualización o por abordar información más a fondo de los componentes.

Las visitas y los trabajos realizados en campo permitieron identificar los componentes involucrados que podrían verse alterados por la acción de la ejecución, operación y mantenimiento de la obra hidráulica.

El estudio socio económico presentado en el capítulo II forma parte importante para la identificación de los componentes afectados.

En los siguientes ítems se presenta una evaluación general del medio físico y medio biótico.

## **6.3.2. Medio Físico.**

### ***6.3.2.1. Hidrología y calidad del agua***

- Sigchos comprende una rica red hidrográfica, el agua se origina en las partes altas, existen 49 cuerpos de agua dulce esparcidos por la superficie del cantón (Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos, 2012, pág. 49).
- La población de las zonas urbanas del cantón se abastece de agua proveniente de las nacientes del río Cristal, mientras que la población de las zonas rurales se abastece de agua de vertientes o riachuelos cercanos (Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos, 2012, pág. 142).
- Los resultados obtenidos de la hidrometría y calidad de agua realizados para el estudio se encuentran descritos en el capítulo III.

### ***6.3.2.2. Clima***

De acuerdo (Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos, 2012): las temperaturas medias anuales en el cantón varían entre 9 y 11 °C, la temperatura mínima puede llegar a los 0°C y la temperatura máxima alcanza los 22°C.

### ***6.3.2.3. Suelos***

- Según (Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos, 2012) la mayor parte del territorio cantonal presenta suelos Inceptisoles (jóvenes) con un 92,3 %, equivalente a 125.339 ha.
- Sigchos tiene pendientes superiores al 70 %, lo cual describe perfiles montañosos de baja fertilidad, producidos por el movimiento y evolución contaste; la textura es moderadamente gruesa.
- El suelo tiene permeabilidad muy baja en un 65 % del territorio.

(GAD-SIGCHOS, 2012)

- En base a los estudios de suelos presentados en el capítulo III, se tiene un suelo con una clasificación de arena limosa en la zona de estudio.

#### **6.3.2.4. Aire**

La comunidad de Quinticusig al estar ubicada en una zona rural del cantón Sigchos, cuenta con vegetación y bosques, la circulación vehicular en esta zona es moderada, no hay grandes fábricas contaminantes de aire, por lo tanto, la calidad del aire es buena, la contaminación es baja.

Sin embargo, la quema de páramos o vegetación es una práctica muy común, antes del período de siembras (GAD-SIGCHOS, 2012).

#### **6.3.2.5. Paisaje natural**

Quinticusig cuenta con varios recursos naturales que pueden utilizarse como actividad turística, lo cual ayudaría a la economía de la zona. La población no ha explotado en su totalidad estos recursos, por diferentes motivos entre ellos, la falta de: información y apoyo por parte de las autoridades pertinentes al caso.

De acuerdo al trabajo de titulación “Inventario de recursos turísticos de la comunidad Quinticusig, provincia de Cotopaxi” realizado por (Cuchiparte Umajinga, 2017), se determinó seis paisajes naturales:

1. Paisaje de Unavana.
2. Parada del Cóndor.
3. Mirador Natural de Quinticusig.
4. Ojos de agua.
5. Páramo de mortiño.

6. Sendero de Tigre de bajada.

### **6.3.3. Medio Biótico.**

#### **6.3.3.1. Flora**

La flora que caracteriza la comunidad es: chica, sigse, lechero, pino, eucalipto, quicuyo, ciprés, mortiño (materia prima para la elaboración de vinos, propios de Quanticusig). (Cuchiparte Umajinga, 2017). Se evidencio que los sembríos agrícolas de la población tienen: papas, chocho, choclo, maíz, frejol, habas y demás.

#### **6.3.3.2. Fauna**

Entre la fauna se puede observar: lobos de páramo, conejos, zorros, aves (gorriones, tórtolas colibríes), existen diversas especies de moscas, en otros animales les domésticos.

## **6.4. Identificación y evaluación de impactos ambientales**

Para el desarrollo correcto del EIA, es necesario identificar los impactos que afectan el proyecto durante su fase de diseño y construcción y su fase de operación y mantenimiento, ya identificados todos estos impactos sean positivos o negativos deben ser evaluados.

### **6.4.1. Etapa de construcción.**

Durante esta etapa se producirán impactos ambientales de tipo temporal, la clasificación de estos impactos se muestra a continuación.

#### **6.4.1.1. Positivos.**

- Empleo: existen varios rubros que requieren la contratación de personal fuera de la comunidad, esto generará nuevas fuentes de trabajo.

- Comercio: la dinamización del sector comercial en distintas áreas como puestos de comida, adquisición de equipos y diversos otros productos en los que se incluyen la comercialización del vino de mortiño.

#### ***6.4.1.2. Negativos.***

- El uso de maquinaria pesada produce ruido, y gases que no son parte del entorno.
- Generación de polvo que puede afectar el sistema de riego que es colindante al sistema de agua cruda.
- Deforestación a lo largo de todo el proyecto para poder implantar las estructuras y la línea de aducción.
- Riesgos de accidentes laborales al tener un terreno con relieve muy accidentado.
- Generación de escombros y residuos producto de la construcción de las estructuras hidráulicas.

#### **6.4.2 Etapa de Operación y Mantenimiento**

Corresponden a impactos de carácter temporal y permanentes que estarán presentes durante la vida útil del proyecto

##### ***6.4.2.1. Positivos.***

- Mejoramiento de la calidad de agua que recibe la comuna.
- Disminución de enfermedades gastrointestinales y por ende una mejora en la salud de la comuna.
- Abastecimiento de agua ininterrumpido para la población y empresas comunitarias.

##### ***6.4.2.2. Negativos.***

- Generación de residuos sólidos por parte del personal de mantenimiento.

- Disminución del caudal en el riachuelo que se forma aguas abajo de la captación.
- Riesgos de accidentes laborales durante los trabajos de limpieza y mantenimiento de las estructuras.

### 6.4.3. Metodología.

#### 6.4.3.1. Clasificación de las actividades

Las actividades realizadas durante el proyecto tanto en su fase de construcción como en su fase de operación y mantenimiento se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 97**

*Actividades del proyecto.*

Fase de construcción	
1	Replanteo y Nivelación
2	Limpieza del terreno
3	Excavaciones con maquinaria pesada
4	Transporte y almacenamiento de materiales
5	Construcción de estructuras hidráulicas
6	Instalación de tuberías
6	Relleno y compactación
Operación y mantenimiento	
1	Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas
2	Limpieza y mantenimiento de senderos de línea de aducción
2	Operación del sistema de agua potable.

Elaborado por: Los autores.

#### 6.4.3.2. Valoración de los impactos ambientales.

Se utiliza la “Matriz de Leopold” que relaciona la causa y el efecto, es decir considera la acción realizada en un proyecto y su afectación en el medio ambiente donde se efectúa; para evaluar los impactos esta matriz considera 2 aspectos:

- Importancia: según el grado de importancia varía desde 1 a 10, siendo 1 nada importante y 10 muy importante.

- Magnitud: puede ser positiva si hay beneficio o negativa si existen daños al ambiente, varía desde  $\pm 1$  a  $\pm 10$ , siendo  $\pm 1$  muy bajo y  $\pm 10$  muy alta.

**Tabla 98**

*Escalas de valoración para la “La Matriz de Leopold” según el TULSMA.*

Magnitud			Importancia		
Calificación	Intensidad	Afectación	Calificación	Duración	Afectación
1	Baja	Baja	1	Temporal	Puntual
2	Baja	Media	2	Media	Puntual
3	Baja	Alta	3	Permanente	Puntual
4	Media	Baja	4	Temporal	Local
5	Media	Media	5	Media	Local
6	Media	Alta	6	Permanente	Local
7	Alta	Baja	7	Temporal	Regional
8	Alta	Media	8	Media	Regional
9	Alta	Alta	9	Permanente	Regional
10	Muy alta	Muy alta	10	Permanente	Nacional

Fuente: (Pérez, 2018, pág. 97).

En base a la siguiente tabla se puede evaluar el impacto que tendrá el proyecto sobre el medio ambiente de la zona, esta tabla es toma del TULSMA.

**Tabla 99**

*Evaluación del impacto según el TULSMA.*

Evaluación de Leopold			
Rango		Impacto	
-70,1	-100	Negativo	Muy alto
-50,1	-70	Negativo	Alto
-25,1	-50	Negativo	Medio
-1	-25	Negativo	Bajo
1	25	Positivo	Bajo
25,1	50	Positivo	Medio
50,1	80	Positivo	Alto
80,1	100	Positivo	Muy alto

Fuente: (Pérez, 2018, pág. 97).

El valor del impacto obtenido mediante la matriz de Leopold nos arroja un valor de “-15” en base a la tabla del TULSMA vemos que nuestro proyecto se encuentra en el rango de -1 a -25, por lo que su impacto en el ambiente será negativo y bajo.

**Tabla 100**

*Evaluación del impacto en base a la Matriz de Leopold.*

ACTIVIDAD \ FACTOR	MEDIO FÍSICO				MEDIO BIÓTICO		MEDIO ANTRÓPICO			Promedio positivo	Promedio negativo	Agregado del impacto	
	AIRE	AGUA	SUELO	RUIDO	FLORA	FAUNA	PAISAJES	ECONOMÍA	INFRAESTRUCTURA				
<b>Fase de construcción</b>													
Replanteo y nivelación	/	-1	-3	/	-3	-1	-3	5	4	/	2	6	14
		1	1	/	1	3	1	3	3	/			
Limpieza del terreno	/	-2	-1	-2	-3	-3	5	3	3	/	3	5	33
		2	2	2	2	2	5	5	5	/			
Excavaciones con maquinaria pesada	-5	/	-3	-3	-3	-3	-3	5	5	/	2	6	10
	2	/	2	2	2	2	2	5	5	/			
Transporte y almacenamiento de materiales	/	/	-2	-3	/	-2	/	7	5	/	2	3	19
			3	5	/	5	/	5	3	/			
Construcción de estructuras hidráulicas	/	-3	-2	-3	-4	-4	-3	5	5	/	2	6	-20
		7	4	2	3	3	2	5	4	/			
Instalación de tuberías	/	-2	-4	/	-3	-1	-2	5	5	/	2	5	26
		2	3	/	1	1	2	6	4	/			
Relleno y compactación	-1	-3	1	-6	1	-4	5	1	5	/	5	4	-5
	1	2	5	5	1	5	5	1	4	/			
<b>Fase de operación y mantenimiento</b>													
Limpieza y mantenimiento de estructuras hidráulicas	/	-3	-2	/	/	/	/	-3	3	/	1	3	-21
		6	3	/	/	/	/	2	3	/			
Limpieza y mantenimiento de senderos de línea de aducción	/	-3	-6	/	-3	-4	-2	-1	3	/	1	6	-44
		6	3	/	2	2	1	1	3	/			
Operación del sistema de agua potable.	/	-6	-3	/	-3	-3	-1	4	3	/	2	5	-27
		4	3	/	3	3	1	4	3	/			
Promedios positivos	0	0	1	0	1	0	2	8	10				-15
Promedios negativos	2	8	9	5	7	9	6	2	0				
Agregado del impacto	-11	-96	-65	-61	-44	-75	28	155	154	-15			
Impacto por componente	-233				-119		337						
Impacto total del proyecto	-15												

Elaborado por: Los autores.



## 6.5. Plan de manejo ambiental (PMA)

El EIA contempla con fin del mismo proponer medidas para la prevención, minimización y mitigación de los impactos negativos que generen el proyecto sobre el entorno en que se desarrolla.

### 6.5.1. Plan de Prevención y mitigación de impactos.

**Tabla 101**

*Plan de Prevención y mitigación de impactos.*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZO
Etapa de construcción					
Ruidos y vibraciones	Estrés y cambios en los hábitos de especies de aves y pájaros en la zona.	Realizar mediciones del ruido generado por la maquinaria, y realizar estas actividades durante la mañana.	Número de equipos y maquinarias en actividad al mismo tiempo.	Informes de niveles de ruido generado por la maquinaria y equipos.	12 meses
	Problemas auditivos en los trabajadores del proyecto.	Proveer del equipo de protección personal EPP a todos los trabajadores.	Número de trabajadores utilizando el EPP.	Libro de obra. Registro de fotografías.	12 meses
Contaminación del aire	Generación de polvo que puede afectar el sistema de riego que es colindante al sistema de agua cruda.	Transportar el material cubierto con lonas.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Libro de obra. Registro de fotografías.	12 meses

Contaminación hídrica	Generación de polvo que puede afectar el sistema de riego que es colindante al sistema de agua cruda.	Cubrir la piscina colindante con plástico para evitar la caída de polvo.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Informes de la calidad del agua en el sistema de riego. Registro de fotografías.	12 meses
Vegetación	Deforestación a lo largo de la línea de aducción.	Reforestar con especies nativas.			
	Remoción de la capa vegetal en los sitios de implantación de las estructuras hidráulica.	Reutilizar el material orgánico que se ha podido recuperar durante la remoción del mismo.	Número de franjas y zonas rehabilitadas.	Libro de obra. Registro de fotografías. Informes.	12 meses
Seguridad	Riesgo de accidentes laborales	Mantener la velocidad de circulación de los vehículos pesados en 20 km/h.	Velocidad de circulación de las volquetas.		
		Colocar cerramientos en los sitios de implantación de las estructuras hidráulicas.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Libro de obra. Registro de fotografías. Informes.	12 meses
		Señalizar adecuadamente el área de trabajo.	Número, tipo y ubicación de la señalética.		
Residuos sólidos	Generación de escombros y residuos producto de la construcción de las estructuras hidráulicas.	Instalación temporal de contenedores de basura.	Número de contenedores instalados.		
		Transportar los escombros generados hacia sitios autorizados para su disposición final.	Número de volquetas que retiran los residuos desde el sitio del proyecto.	Libro de obra. Registro de fotografías. Informes.	12 meses
Etapa de operación y mantenimiento					

Contaminación hídrica	Disminución del caudal en el riachuelo que se forma aguas abajo de la captación.	Mantener un caudal ecológico durante todo el año para evitar el daño al ecosistema en la parte baja de la captación.	Medición del caudal.	Registro de fotografías. Informes. Aforamientos en sitio.	Trimestral
Suelo	Generación de residuos sólidos por parte del personal de mantenimiento.	Instalación de contenedores de basura permanentes junto a las estructuras hidráulicas	Número de contenedores instalados.	Registro de fotografías. Informes.	Semestral
Seguridad	Riesgos de accidentes laborales durante los trabajos de limpieza y mantenimiento de las estructuras.	Utilizar EPP durante todo el proceso de limpieza de las estructuras.	Número de trabajadores utilizando el EPP.	Registro de fotografías. Informes.	Semestral

Elaborado por: Los autores.

## 6.5.2. Plan de Contingencias.

**Tabla 102**

*Plan de Contingencias.*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZO
Omisión e incumplimiento de procesos constructivos	Daños a la salud de trabajadores.	Utilizar una metodología adecuada en los procesos constructivos basada en normativa nacional e internacional existente.	Número de accidentes por mes.	Registro de fotografías. Informes.	12 meses (fase de construcción)
	Avería de maquinaria y equipos de construcción.	Instalar equipos de respuesta inmediata (extintores y botiquines de emergencia) ante percances.	Número de extintores y botiquines colocados.	Registro de fotografías. Informes técnicos del responsable.	12 meses (fase de construcción)
	Afectación de los materiales de construcción.	Almacenar de forma adecuada todos los materiales bajo protección contra la intemperie.	Cantidad de material dado de baja o repuesto.	Registro de fotografías, informes, libro de obra.	12 meses (fase de construcción)
Deficiente mantenimiento en maquinaria y equipos	Avería de maquinaria y equipos de construcción.	Establecer controles preventivos para la maquinaria y equipos. Implantar un manual de operación para maquinaria y equipos.	Número de reparaciones fuera de cronograma en equipos y maquinaria.	Registro de fotografías. Informes.	12 meses (fase de construcción)
Situaciones de riesgo	Daños a la salud de trabajadores, maquinaria, equipos e infraestructura en construcción	Establecer controles preventivos sobre el uso del EPP en los trabajadores, y mantener asegurada la maquinaria y los equipos.	Número de trabajadores utilizando el EPP.	Registro de fotografías. Informes.	12 meses (fase de construcción)

Elaborado por: Los autores.

### 6.5.3. Plan de seguridad y salud en el trabajo.

**Tabla 103**

*Plan de seguridad y salud en el trabajo.*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZO
Carente aplicación de procesos constructivos y normativas de seguridad ocupacional.	Afectación a la salud de trabajadores.	Fomentar el uso apropiado del EPP durante la jornada de trabajo.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Registro de asistencia del personal. Registro de fotografías.	Semestral
		Colocar la señalética adecuada dentro de las obras en ejecución.	Número, tipo y ubicación de la señalética.	Registro de fotografías.	
		Establecer un reglamento interno de seguridad.	100% del cumplimiento del reglamento interno de seguridad.	Reglamento que cumpla con normas y leyes de aplicación nacional y local.	
		Inspeccionar el cumplimiento del reglamento interno de seguridad.	Número de normas aplicadas por los trabajadores.	Registro de asistencia del personal. Registro de fotografías.	

Elaborado por: Los autores.

#### 6.5.4. Plan de manejo de desechos.

**Tabla 104**

*Plan de manejo de desechos.*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZO
Generación de escombros	Contaminación del suelo, y cuerpos de agua cercanos al sitio de implantación del proyecto.	Establecer un sitio adecuado para la colocación temporal de los escombros.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Registro de fotografías. Informe.	12 meses (fase de construcción).
		Señalizar el sitio para la colocación de los escombros de forma correcta.	100% de cumplimiento en la disposición de los escombros.	Registro de fotografías. Informes.	
	Contaminación visual de la zona.	Fijar el sitio de disposición final de los residuos.	Nombre del sitio en Sigchos u otra localidad cercana.	Registro de fotografías. Informes.	
		Implantar un cronograma para la desocupación ordenada de los residuos del sitio de colocación temporal.	Registro de la salida de residuos.	Registro de la salida de escombros.	
Generación de residuos orgánicos	Afectación a la flora y fauna del lugar	Colocar contenedores especiales para este tipo de residuos.	Número de contenedores colocados.	Registro de fotografías. Informes.	12 meses (fase de construcción).
Generación de residuos inorgánicos	Contaminación del suelo, y cuerpos de agua cercanos al sitio de implantación del proyecto.	Implantar un cronograma para la desocupación ordenada de los residuos del sitio de colocación temporal.	100% del cumplimiento de la medida propuesta.	Registro de la salida de residuos. Registro de fotografías.	12 meses (fase de construcción).

Elaborado por: Los autores.

### 6.5.5. Plan de relaciones comunitarias.

**Tabla 105**

*Plan de Relaciones Comunitarias.*

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Plazo
Social	Generación de conflictos entre el ente administrativo de la comuna Quinticusig y los pobladores por la insuficiente información sobre el proyecto.	Definir mecanismos (videos, perifoneo, volantes) que permitan a los moradores manejar la información sobre el proyecto e incentivar su participación.	Número de mecanismos impartidos en la comunidad.	Registros de fotografías y contenido de información.	12 meses (fase de construcción)
		Desarrollar reuniones para socializar la información general sobre el proyecto (nombre de la obra, nombre de la entidad contratante y nombre de las entidades financieras de la obra, duración de la obra y monto a ser invertido, según el contrato suscrito).	Número de reuniones realizadas.	Actas, registro de fotografías, lista de participantes y sus firmas.	12 meses (fase de construcción)
	Presencia de tensiones de la comunidad por la interrupción del agua durante el proceso de ejecución del proyecto.	Precisar una oficina informativa, para diálogos y recepción de inquietudes y sugerencias.	Número de diálogos, inquietudes y sugerencias de los pobladores.	Dirección de la oficina. Registros de las personas atendidas de la comunidad. Registros de formularios y fotografías.	12 meses (fase de construcción)

Elaborado por: Los autores.

### 6.5.6. Plan de monitoreo.

**Tabla 106**

*Plan de monitoreo.*

ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	PLAZO
Agua	Alteración en la calidad de agua	Realizar monitoreos semestrales de la calidad de agua mediante estudios en laboratorios acreditados por la Norma Ecuatoriana OAE.	Número de estudios realizados de la calidad de agua.	Informes del estudio de la calidad de agua. Registro de fotografías.	6 meses (fase de operación y mantenimiento)
Social	Alteración en el medio ambiente	Socializar en reuniones trimestrales el porcentaje de cumplimiento de las medidas establecidas en el presente PMA.	Número de reuniones realizadas. Número de medidas ejecutadas/planteadas (%)	Informes de seguimiento. Y cumplimiento de las medidas del PMA. Registro de fotografías.	3 meses (fase de operación y mantenimiento)

Elaborado por: Los autores.



### 6.5.7. Plan de rehabilitación de áreas afectadas.

**Tabla 107**

*Plan de rehabilitación de áreas afectadas.*

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Plazo
Agua/suelo/aire	Contaminación en el ambiente	Realizar un Plan de remediación de acuerdo a la eventualidad.	Al terminar el proyecto, 100% de áreas rehabilitadas.	Plan de remediación aprobado por el Ministerio del Ambiente (MAE). Registro de fotografías de las medidas aplicadas.	Si se presenta contaminación en el ambiente.
Paisaje	Alteración del paisaje	Restituir senderos y áreas aledañas afectadas.	Al terminar el proyecto, 100% de áreas rehabilitadas.	Informe de restitución. Registro de fotografías.	2 meses (fase de cierre)
		Retirar los elementos de señalización.	Al terminar el proyecto, 100% de cumplimiento de la medida.	Informe de cumplimiento. Registro de fotografías.	2 meses (fase de cierre)

Elaborado por: Los autores.

### 6.5.8. Plan de cierre, abandono y entrega del área.

**Tabla 108**

*Plan de cierre, abandono y entrega del área.*

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Medidas propuestas	Indicadores	Medios de verificación	Plazo
Generación de residuos orgánicos e inorgánicos que contaminen el medio ambiente.	Contaminación del suelo, aire y agua.	Retirar instalaciones provisionales previo al cierre de la obra.	Al terminar el proyecto, 100% de cumplimiento de la medida.	Informe de cumplimiento. Registro de fotografías.	1 mes (fase de cierre)
		Socializar el plan de contingencia propuesto para eventos que se pueden suscitar en el proyecto.	Al terminar el proyecto, 100% de cumplimiento del Plan de Contingencia.	Plan de contingencia. Registro fotográfico. Registro de asistentes y sus firmas.	Si se presenta contaminación en el ambiente.
		Clasificar los residuos orgánicos e inorgánicos y disponer los mismos a gestores calificados.	Al terminar el proyecto, 100% de los residuos orgánicos e inorgánicos estarán clasificados y puestos a disposición de gestores calificados.	Centro de clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos. Registro fotográfico. Acta de entrega-recepción a gestores calificados.	2 meses (fase de cierre)

<p>Generación de escombros por la demolición de los componentes del sistema de conducción actual.</p>	<p>Contaminación del suelo, aire y agua.</p>	<p>Retirar los escombros a espacios permitidos por la municipalidad del cantón.</p>	<p>Al terminar el proyecto, 100% de los escombros generados por la demolición de los componentes del sistema de conducción actual estarán retirados a espacios permitidos por la municipalidad del cantón.</p>	<p>Registro fotográfico. Factura de la recepción de escombros.</p>	<p>2 meses (fase de cierre)</p>
<p>Generación de residuos orgánicos e inorgánicos.</p>	<p>Contaminación ambiental.</p>	<p>Realizar el informe técnico ambiental de cierre y abandono del área Sistema De Conducción y Tratamiento de Agua Cruda en la Comuna Quinticusig – Cantón Sigchos.</p>	<p>Al terminar el proyecto, 100% de cumplimiento de la medida.</p>	<p>Informe de cierre técnico ambiental aprobado y ejecutado.</p>	<p>No aplica.</p>

Elaborado por: Los autores

## CONCLUSIONES

En la actualidad el 66 % de las familias encuestadas ha sufrido de cortes en el suministro del agua en épocas de sequías, siendo esta una de las razones para ejecutar el proyecto y mejorar la calidad de vida de los comuneros.

La población futura es de 662 habitantes, se utilizó el método geométrico, considerando una tasa de crecimiento anual del 1% y un periodo de diseño de 20 años correspondiente para estructuras sanitarias en el área rural.

Con el caudal máximo diario de 3,28 l/s, se obtuvo los caudales de diseño para los componentes del sistema de conducción que se indican a continuación.

Componente	Caudal de diseño (l/s)
Captación	3,94
Línea de aducción	3,61
Desarenador	3,61
Tanque de almacenamiento	3,61

El método volumétrico aplicado en la confluencia de caudales provenientes de los afloramientos “Dos Piedras” y “Yacubiana” durante los meses de junio, julio y agosto, meses de verano en la comuna, se desprende un caudal combinado máximo de 2,65 l/s, es inferior al caudal máximo diario con 0,63 l/s, por lo tanto, no satisface la demanda de los usuarios.

A partir de la implantación de cinco puntos georreferenciados utilizados para dar inicio al estudio topográfico, la comuna tiene la posibilidad de enlazarse con estos puntos para dar inicio a futuros proyectos topográficos. La localización de los puntos “GPS” se encuentran descritos en la tabla 15 dentro del capítulo III.

De acuerdo al sistema de clasificación SUCS, el suelo que predomina en la zona del proyecto es limo orgánico arenoso.

Los cambios hechos por la comuna en la actual captación envían todo el caudal hacia la línea de aducción, produciendo la sequía del riachuelo que se formaba aguas abajo; teniendo en

cuenta lo mencionado, se optó por implementar una captación de doble cámara, las cámaras de embalsamiento y derivación permiten regular el caudal que se dirige hacia la línea de aducción y el caudal excedente que será devuelto al riachuelo formado aguas abajo.

Para evitar daños por aplastamiento y desgaste por exposición al ambiente, la tubería de la línea de aducción se enterró a una profundidad de 80 cm.

Se utilizó tubería con un diámetro de 90 mm en el tramo 1 de la línea de aducción para disminuir las pérdidas hidráulicas en este tramo, en los 5 tramos consecutivos se utilizó tubería con un diámetro de 75 mm, cumpliendo así con los parámetros de diseño.

La velocidad mínima de trabajo en la línea de aducción es de 0,60 m/s y la velocidad máxima es de 0,86 m/s, estas velocidades se encuentran dentro las velocidades mínimas recomendadas por norma.

Las presiones máximas de trabajo sobre la red fueron contraladas con la inclusión de 5 cámaras rompe presión, con eso se aseguró que en ningún tramo se supere la presión de trabajo de la tubería PVC de 1 MPa, aproximadamente 102 mH<sub>2</sub>O; la presión máxima estática es de 52, 84 mH<sub>2</sub>O y se produce en el tramo 2 de la línea de aducción.

Se colocó una válvula de compuerta antes del ingreso al desarenador y se verificó el fenómeno del golpe de ariete común en tuberías que trabajan a presión; la válvula no debe cerrarse en un tiempo inferior a los 16 segundos.

En el tramo 1 de la línea de aducción, se diseñó un cruce aéreo de 14 metros de longitud, con el fin de salvar la quebrada S/N que tiene una profundidad de 6 m.

Se diseñó un desarenador horizontal semi enterrado, junto al reservorio de agua destinado para el riego de cultivos, dentro de los páramos comunales, esta estructura permite realizar el tratamiento físico al agua. Para reducir el costo de construcción y mejorar la eficiencia del

trabajo, se optó por diseñar una pantalla horizontal deflectora con un grado 3 y un porcentaje de remoción de partículas del 75 %.

Para asegurar el caudal en épocas de sequía, el volumen de regulación estimado para el diseño del tanque de almacenamiento es 126 m<sup>3</sup>/s, dentro de este valor se consideró el volumen muerto de sedimentos.

Se diseñó un tanque rectangular enterrado hasta la corona de los muros, la ubicación propuesta de la construcción se definió dentro del páramo comunal, así se reducen costos por derrocamiento y reconstrucción de la estructura actual, a su vez disminuye el tiempo de ejecución de la estructura.

Debido a los resultados obtenidos del análisis de agua entregado por la comuna, el agua necesita ser tratada únicamente por un método de desinfección, para ello se debe suministrar una dosis de hipoclorito de calcio de 78,75 g en los 126 m<sup>3</sup>/s, con un tiempo de contacto recomendado de 70 minutos.

El presupuesto referencial para el proyecto es de 126645,44 \$, contempla la construcción de la captación, línea de aducción, desarenador, tanque de almacenamiento y obras complementarias (cruce aéreo y cinco cámaras rompe presión).

Considerando los beneficios y costos valorados en el proyecto se determinó los indicadores económicos (VAN, TIR, B/C), con los cuales se analizó que el proyecto es viable.

En cuanto al estudio de impacto ambiental se concluye que el proyecto no representa una amenaza para el entorno natural de la zona, los impactos positivos sobre la comuna son considerables.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar los datos de este proyecto durante la etapa de pre factibilidad, no toda la información utilizada proviene de estudios en campo, laboratorio y gabinete, ya que parte de la información se tomó de fuentes bibliográficas, debido a la limitación económica de los autores.

Debido a la época en que se realizó el estudio hidrométrico se recomienda realizar un nuevo estudio durante los meses de verano e invierno en la comuna, el cual permita verificar el caudal de aportación para el proyecto.

Para las cámaras rompe presión y el tanque de almacenamiento en épocas de caudales de excedencia se recomienda colocar un sistema mediante boya con cierre lento de la tubería de aducción, que permita controlar los niveles en las cámaras, con el fin de evitar desperdicios de caudal.

La cimentación del desarenador y tanque de almacenamiento debe ser construida a una profundidad mínima desde el nivel del terreno de 3,5 m, siguiendo la referencia de la construcción del tanque actual, siempre y cuando no se hagan nuevos estudios de suelo que recomienden profundidades diferentes. Considerar que los estudios de suelos revelaron un espesor de material orgánico de 50 cm, el cual debe ser removido.

Se recomienda efectuar un estudio geológico-geotécnico alrededor de la captación y en el sitio de implantación del cruce aéreo, en razón de que se visualizó inestabilidad en el suelo y los taludes colindantes.

En la etapa de operación del proyecto, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de las estructuras, para verificar su funcionamiento adecuado y cumplir con el periodo de diseño.

Para reducir los costos de mano de obra no calificada se recomienda incluir en el proyecto a los pobladores de la comuna.

Realizar un reajuste de precios unitarios de acuerdo al año de ejecución de la obra hidráulica.



## REFERENCIAS

- AASHTO. (2011). *Guía de Especificaciones para el Diseño de Puentes Peatonales (Traducción al Español)*. (D. Marcano, Ed.) American Association of State Highway and Transportation.
- ACI. (2011). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.
- ACI. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.
- ACI 350. (2006). *Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary (ACI 350-06)*. American Concrete Institute Committee 350.
- ACI 350.3. (2001). *Sismic Design of Liquid Containing Concrete Structures*.
- ACI Committee 350. (2006). *Environmental Engineering Concrete Structures*. American Concrete Institute Committee 350.
- Agüero, R. (2004). *Guía para el Diseño y Construcción de Captación de Manantiales*. CEPIS/OPS. Obtenido de [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20de%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/AGUERO%202004.%20Gu%C3%ADa%20de%20dise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20captaci%C3%B3n%20de%20manantiales.pdf)
- American Concrete Institute. (2007). *Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos*. Indiana: Comité ACI 350.
- American Concrete Institute. (2007). *Diseño sísmico de estructuras contenedoras de líquidos*. Comité ACI 350.
- ASTM. (2006). *Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)*. ASTM International.
- ASTM. (2009). *Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density of Soil Specimens*. ASTM Internacional.
- Behar, D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Shalom. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/004416166f1d9df980e62>

- Casanova, L. (2003). *Topografía plana*. Universidad de los Andes. Obtenido de <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/10/1-Manual-Topografi%CC%81a-Plana.pdf>
- CEPIS/OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo I*. CEPIS/OPS. Obtenido de [33551281\\_Tratamiento\\_de\\_agua\\_para\\_consumo\\_humano\\_Plantas\\_de\\_filtracion\\_rapida\\_Manual\\_III\\_evaluacion\\_de\\_plantas\\_de\\_tecnologia\\_apropiada](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/433551281/Tratamiento_de_agua_para_consumo_humano_Plantas_de_filtracion_rapida_Manual_III_evaluacion_de_plantas_de_tecnologia_apropiada)
- Checa, F., & Zambrano, S. (2007). *Diseño de un Teleférico sobre el Río Blanco*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/1563/T-ESPE-014820.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- CivilGEEK. (25 de Junio de 2014). *Diseño de Puentes AASHTO*. Obtenido de [civilgeeks.com: https://civilgeeks.com/2014/06/25/libro-de-diseno-de-puentes-aashto/](https://civilgeeks.com/2014/06/25/libro-de-diseno-de-puentes-aashto/)
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. En *Manual de agua potable y alcantarillado*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro23.pdf>
- Corcho, F., & Duque, J. (2009). *Acueductos, Teoría y Diseño*. Sello Editorial Universidad de Medellín.
- Cuchiparte Umajinga, L. (2017). *Inventario de recursos turísticos de la comunidad Quinticusig, provincia de Cotopaxi*. [Tesis de pregrado, Universidad técnica de Cotopaxi]. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4169/1/UTC-PC-000127.pdf>
- Das., B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. Cengage Learning.
- EMAAP-Q. (2008). *Normas De Diseño De Sistemas De Agua Potable Para La EMMAP-Q*. Empresa de Alcantarillado y Agua Potable de Quito.
- Figueroa Sánchez, K. J. (2019). *Caracterización de la curva de consumo diario de la red de agua potable de los sectores Izamba, Cunchibamba y Unamuncho I del cantón Ambato*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29214>

- GAD-SIGCHOS, E. T. (2012). *Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial del Cantón Sigchos*.
- Hidalgo, L. (2017). *Guía práctica para aforar en canales y cauces naturales, utilizando instrumentación básica y de bajo costo*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18851>
- INEN. (1982). *Determinación del Contenido de Agua Método de Secado al Horno. NTE INEN 690 : 1982*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (1982). *Determinación del Límite Líquido Método de Casa Grande NTE INEN 691 : 1982*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (1982). *Determinación del Límite Plástico NTE INE 692 : 1982*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (1982). *Toma de Muestras Inalteradas NTE INEN 687 : 1982*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN. (2011). *Agua Potable Requisito. NTE INEN 1108 : 2011*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Institute, A. C. (s.f.). *Code Requirements for Environmental Engineering Concrete Structures and Commentary (ACI 350-06)*. ACI.
- INV E. (2013). *Conservación y Transporte de Muestras de Suelos INV E - 103 - 2013*. INV E.
- Jímenez, J. (2013). *Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Universidad Veracruzana. Obtenido de <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- Larriva Becerra, B. A., & Muñoz Zeas, D. S. (2018). *Estudio de las velocidades sísmicas de un suelo arena limoso, con diferentes grados de compactación y humedad mediante equipo sísmico*. [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31529/1/Trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf>

- LEÓN CABLES CIA.LTDA. (20 de Junio de 2020). *Catálogo Cables y Cadenas de Acero de Alta Resistencia*. Obtenido de [www.leoncables.net](http://www.leoncables.net)
- López, R. (2003). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- MAGAP. (2019). *Reglamento de la comuna Quinticusig - Acuerdo No. 2017-042-2019-DDC*. Latacunga: Dirección Distrital 05D01-Latacunga-MAG.
- Mantilla, F. (2015). *Técnicas de Muestreo: Un enfoque a la investigación de mercados*. Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10177>
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico Diseño Sismoresistente*. CAMICOM.
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción Cargas (No Sísmicas)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- MIDUVI. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Contrucción- Estructuras de Hormigón Armado*. Ecuador: CAMICON.
- Morales, F. A. (2015). *Abastecimiento de agua para comunidades rurales*. Universidad Técnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6873>
- Municipal, G. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y de Ordenamiento Territorial Sigchos 2015-2065*. Obtenido de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4169/1/UTC-PC-000127.pdf>
- Muñoz, C. (2015). *Metología de la investigación*. Oxford University Press México. Obtenido de <https://corladancash.com/wp-content/uploads/2019/08/56-Metodologia-de-la-investigacion-Carlos-I.-Munoz-Rocha.pdf>
- MVCS. (2018). *Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- NEC. (2015). *NEC-SE-DS*. NEC.

- Orihuela Canchari, J., & Sánchez Arévalo, N. (2016). Diseño estructural de tanques rectangulares y sus aplicaciones. *Ingenium*, 13. Obtenido de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/ingenium/article/view/440>
- PCA. (1998). *Rectangular Concrete Tanks*. Portland Cement Association. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/54823464/PCA-Rectangular-Concrete-Tanks>
- Pérez, M. (2018). *Estudio y diseño de la captación, conducción, planta de tratamiento y distribución del sistema de abastecimiento de agua de la parroquia Lligua*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27234>
- Pinto, P., & Valladares, O. (06 de Junio de 2016). *Diseño Hidráulico de la Captación, Sistema de Bombeo y Conducción de agua del proyecto Perafán – Santa Martha*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6496>
- Portland Cement Association. (1998). *Rectangular Concrete Tanks*. Portland Cement Association.
- Portland Cement Association. (2001). *Rectangular Concrete Tanks*. Portland Cement Association.
- Puga, M. (2010). *Modelo hidráulico físico de vertederos como ayuda de aprendizaje de la materia de hidráulica*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica del Ejército]. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1681/1/T-ESPE-029265.pdf>
- RAS. (2010). *Título B Sistemas de Acueducto*. Ministerio de Agua y Saneamiento Básico.
- Romero, F. C., & Duque, J. I. (2005). *Acueductos, teoría y diseños*. Universidad de Medellín.
- SENAGUA. (2014). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Secretaria del Agua.
- SENAGUA. (2014). *Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*. Secretaria del Agua.

- SENAGUA. (2017). Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua LIBRO VI ANEXO 1. En *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente* (Vol. Anexo, pág. 54).
- Sheila, C. (06 de 03 de 2018). *Características Estructurales de los Pases Aéreos*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2018/03/06/caracteristicas-estructurales-los-pases-aereos/>
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica General Volumen 1 - Fundamentos*. Limusa S.A.
- Streeter, V. (2000). *Mecánica de fluidos*. Mc Graw-Hill Companies, S.A.
- Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2010). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS): TÍTULO B. Sistemas de acueducto. – 2 ed.* Universidad de los Andes.
- VMCS. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Contrucción y Saneamiento.
- VMCS. (2018). *Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2018/07/23/norma-tecnica-de-diseno-opciones-tecnologicas-para-sistemas-de-saneamiento-en-el-ambito-rural/>

## ANEXOS

### Anexo A

Formato del cuestionario y encuestas.

DISEÑO DE PRE FACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA  
CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS



#### FICHA CENSAL - ENCUESTA SOCIOECONÓMICA

##### Datos generales

Provincia: _____	Cantón: _____	Parroquia: _____	Comunidad: _____
Apellidos de la familia encuestada: _____			
Fecha realizada la encuesta: _____		Nombre del encuestador: _____	

##### Datos de Población e ingresos

No. De familias en la vivienda: _____	No. De miembros en la familia: _____
Raza: Mestiza: _____	Indígena: _____ Afro ecuatoriana: _____ Blanca: _____

Edad	Sexo		Jefe de hogar		Estudia / Nivel de Instrucción	Trabaja	Jubilado/a	Actividad económica	
	M	H	M	H				Principal	Secundario
<b>TOTAL</b>									

##### Ingresos

Miembros	USD/año
Padre	
Madre	
Hijos mayores de 18 años	
Hijos menores de 18 años	
Otros	

Otros ingresos	USD/año
Arriendo de propiedades	
Ingresos de familiares fuera del hogar	
Subsidios del gobierno (bono de desarrollo humano)	
Otros ingresos	

##### Datos de Vivienda

Tipo de construcción de la vivienda:				
Adobe: _____	Bloque/Ladrillo: _____	Madera: _____	Mixta: _____	Otro: _____
Servicios que tiene la vivienda:				
Agua potable: _____	Electricidad: _____	Alcantarillado: _____	Letrina/pozo séptico: _____	
Teléfono: _____	Transporte público: _____	Vía de comunicación: _____		

##### Salud

Principales enfermedades que afectan a los niños/as:				
Diarrea: _____	Parasitosis: _____	Respiratorias: _____	Infecciosas: _____	Otras: _____
Número de niños/as muertos en el último año (En caso de aplicar mención la causa): _____				
Cuando los niños enferman asisten a:		Hospital: _____	Centro de Salud: _____	Sub-centro: _____
Otro: _____ Ninguno: _____				
Conoce las causas de la diarrea Si: _____ No: _____ Cúal: _____				
Conoce las formas de prevenir la diarrea Si: _____ No: _____ Cúal: _____				
Cómo curar la diarrea: _____				
Algún miembro del hogar se ha enfermado en el último mes de una enfermedad estomacal o intestinal de colitis, parásitos, gastroenteritis, diarrea, etc Si: _____ No: _____				
¿Cuánto le costó la curación? (médico, medicinas, transporte, etc.) USD/AÑO: _____				

## Servicios Sanitarios

### a) Agua

La familia cuenta con servicio de agua mediante: red pública : \_\_\_\_\_ grifos públicos : \_\_\_\_\_ pozos

pozos : \_\_\_\_\_ tanqueros : \_\_\_\_\_ Vertiente : \_\_\_\_\_ Otros : \_\_\_\_\_

Está satisfecha con el servicio que recibe actualmente Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La calidad del agua que recibe es buena Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Recibe en forma continua y en cantidad suficiente Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Tiene medidor Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Cuanto consume mensualmente M<sup>3</sup>/mes: \_\_\_\_\_ Cuanto paga USD/mes: \_\_\_\_\_

Compra agua embotellada para beber Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_ Cuanto paga USD/mes: \_\_\_\_\_

La familia acarrea agua Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

No. promedio de horas por día que destina la familia al acarreo de agua: \_\_\_\_\_

Cuántos miembros de la familia acarrean el agua: \_\_\_\_\_

Quiénes: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_ Niños en edad escolar: \_\_\_\_\_

En caso de acarreo o compra: cantidad de agua utilizada por la familia en litros/día: \_\_\_\_\_

### b) Disposición de excretas y basuras

La familia cuenta con sistema de disposición de excretas: Red: \_\_\_\_\_ Letrina: \_\_\_\_\_ Fosa séptica: \_\_\_\_\_

La familia utiliza la letrina Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia cuenta con servicio de recolección de los Des. Sólidos Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Si no cuenta con recolección, dispone la basura: a cielo abierto : \_\_\_\_\_ a Ríos : \_\_\_\_\_

a Quebradas : \_\_\_\_\_ la Quema : \_\_\_\_\_ la Entierra : \_\_\_\_\_ la Recicla : \_\_\_\_\_

### Situación ambiental:

Usa químicos para los cultivos Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_, Distancia de los cultivos al cuerpo de

agua: \_\_\_\_\_ Disposición de los desechos fitosanitarios: \_\_\_\_\_

### Hábitos y costumbres:

La familia almacena el agua: Dentro de casa: \_\_\_\_\_, Fuera de casa: \_\_\_\_\_, con tapa : \_\_\_\_\_  
sin tapa : \_\_\_\_\_

La familia hierve el agua para beber: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia utiliza algún método para desinfectar el agua: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia practica la costumbre de lavarse las manos antes de comer: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia lava los alimentos antes de comerlos: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia se lava las manos después de hacer sus necesidades fisiológicas: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

### Organización:

Los miembros de la familia pertenecen a la organización que maneja el agua: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Quien: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_

La familia participa en la toma de decisiones para el servicio de agua: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Quien: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_

La familia recibió capacitación en salud e higiene: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Quien: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_

La familia hace uso efectivo del agua: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Utiliza las destrezas aprendidas Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

### Participación de la comunidad:

La familia participó en la preparación y ejecución del sistema actual: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Quien: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_

La familia participó en la discusión sobre niveles de servicio: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Quien: Hombre: \_\_\_\_\_ Mujer: \_\_\_\_\_

La familia participó en la decisión sobre los costos del servicio: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

La familia contribuyó para la ejecución del sistema de agua en efectivo: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Cuanto USD: \_\_\_\_\_ y con mano de obra: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

### Tarifas:

Paga por el servicio de agua: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_

Cuánto USD/mes: \_\_\_\_\_ USD/ M<sup>3</sup>: \_\_\_\_\_

Esa tarifa es adecuada con el servicio que recibe: Si : \_\_\_\_\_ No: \_\_\_\_\_



## Anexo B

Levantamiento topográfico.

	Coordenadas UTM	
	Norte	Este
BM1	9919925,977	739169,674
AUX7	9919650,46	740121,863
dif	-275,517	952,189

		sexdc.
Azimut de entrada	98° 37 ' 29"	98,625
Azimut de salida	96° 52 ' 34"	98,876

### Control y corrección angular

Ángulos leídos = 41

Error angular = 98,876 – 98,863

Error angular = –0,01306

Tolerancia angular = precisión del equipo \*  $\sqrt{\text{Ángulos leídos}}$

precisión del equipo = 90" =  $\frac{1}{120}$  sexdc.

Tolerancia angular =  $\left(\frac{1}{200}\right) * \sqrt{41}$

Tolerancia angular = 0,05336

Error angular < Tolerancia angular OK

Corrección angular =  $\frac{\text{Error angular}}{\text{Ángulos leídos}}$

Corrección angular =  $\frac{-0,01306}{41}$

Corrección angular = –0,0003184

dif n = dif –  $\sum$  Proyec. N

dif n = –275,517 – (–276,257)

dif n = 0,74

dif e = dif –  $\sum$  Proyec. N

$$\text{dif e} = 952,193 - 952,347$$

$$\text{dif e} = -0,154$$

$$\text{corrc n} = \frac{\text{dif n}}{\sum \text{Distc.}}$$

$$\text{corrc n} = \frac{0,74}{1212,723}$$

$$\text{corrc n} = 0,0006106$$

$$\text{corrc e} = \frac{\text{dif e}}{\sum \text{Distc.}}$$

$$\text{corrc e} = \frac{0,154}{1212,723}$$

$$\text{corrc e} = -0,0001270$$

Control lineal

$$\text{Error lineal} = \sqrt{|(\text{dif n} * \text{dif n})| + |(\text{dif e} * \text{dif e})|}$$

$$\text{Error lineal} = \sqrt{|(0,74 * 0,74)| + |(-0,154 * -0,154)|}$$

$$\text{Error lineal} = 0,756$$

$$\text{Tolerancia lineal} = 0,025 * \sqrt{\sum \text{Distc.}}$$

$$\text{Tolerancia lineal} = 0,025 * \sqrt{1212,723}$$

$$\text{Tolerancia lineal} = 0,8706$$

Error lineal < Tolerancia lineal OK

Método de la poligonal abierta

Est.	Ángulo horizontal medido				Dist. (m)	Azimut	Ang. + Azimut	Signo	Correc.	Azimut Co.	Proyec. N	Proyec E	Correc. n	Correc. e	Proyec. N + Correc. n	Proyec E + Correc. e	NORTE	ESTE
	°	'	"	sexdc.														
BM1																		
						98,625												
BM2	189	49	19	189,822					0,000318								9919925,98	739169,67
					81,715	108,447	288,447	-		108,447	-25,857	77,516	0,0499	-0,010	-25,807	77,506		
1	135	53	41	135,895					0,001								9919900,17	739247,18
					70,067	64,341	244,341	-		64,342	30,339	63,158	0,0428	-0,009	30,382	63,149		
2	259	12	30	259,208					0,001								9919930,55	739310,33
					71,649	143,550	323,550	-		143,551	-57,633	42,567	0,0437	-0,009	-57,589	42,558		
3	97	24	15	97,404					0,001								9919872,96	739352,89
					45,983	60,954	240,954	-		60,955	22,324	40,200	0,0281	-0,006	22,353	40,194		
4	174	53	48	174,897					0,002								9919895,31	739393,08
					33,53	55,851	235,851	-		55,852	18,821	27,749	0,0205	-0,004	18,842	27,745		
5	220	40	36	220,677					0,002								9919914,16	739420,83
					36,513	96,527	276,527	-		96,529	-4,152	36,276	0,0223	-0,005	-4,130	36,272		
6	174	60	20	175,006					0,002								9919910,03	739457,1
					30,942	91,533	271,533	-		91,535	-0,829	30,931	0,0189	-0,004	-0,810	30,927		
7	186	7	30	186,125					0,003								9919909,22	739488,03
					33,603	97,658	277,658	-		97,660	-4,479	33,303	0,0205	-0,004	-4,459	33,299		
8	193	60	46	194,013					0,003								9919904,76	739521,32
					41,144	111,671	291,671	-		111,673	-15,195	38,235	0,0251	-0,005	-15,170	38,230		
9	178	13	11	178,220					0,003								9919889,59	739559,55

					19,762	109,890	289,890	-		109,893	-6,724	18,583	0,0121	-0,003	-6,712	18,580		
10	157	62	35	158,043					0,004								9919882,88	739578,13
					30,531	87,933	267,933	-		87,937	1,099	30,511	0,0186	-0,004	1,118	30,507		
11	169	39	28	169,658					0,004								9919883,99	739608,64
					39,315	77,591	257,591	-		77,595	8,446	38,397	0,0240	-0,005	8,470	38,392		
12	183	44	5	183,735					0,004								9919892,46	739647,03
					50,524	81,326	261,326	-		81,330	7,616	49,947	0,0308	-0,006	7,647	49,940		
13	194	22	33	194,376					0,004								9919900,11	739696,97
					23,169	95,702	275,702	-		95,706	-2,304	23,054	0,0141	-0,003	-2,289	23,051		
14	146	55	11	146,920					0,005								9919897,82	739720,03
					17,98	62,621	242,621	-		62,626	8,267	15,967	0,0110	-0,002	8,278	15,964		
15	190	11	6	190,185					0,005								9919906,1	739735,99
					35,375	72,806	252,806	-		72,811	10,454	33,795	0,0216	-0,004	10,475	33,791		
16	140	38	47	140,646					0,005								9919916,57	739769,78
					22,749	33,453	213,453	-		33,458	18,979	12,542	0,0139	-0,003	18,993	12,539		
17	218	3	21	218,056					0,006								9919935,57	739782,32
					43,589	71,509	251,509	-		71,514	13,821	41,340	0,0266	-0,006	13,847	41,334		
18	191	46	12	191,770					0,006								9919949,42	739823,65
					41,945	83,279	263,279	-		83,285	4,905	41,657	0,0256	-0,005	4,931	41,652		
19	326	9	49	326,164					0,006								9919954,35	739865,31
					11,095	229,442	409,442	-		229,449	-7,213	-8,430	0,0068	-0,001	-7,206	-8,432		
20	50	56	14	50,937					0,007								9919947,14	739856,87
					8,711	100,379	280,379	-		100,386	-1,570	8,568	0,0053	-0,001	-1,565	8,567		
21	212	55	40	212,928					0,007								9919945,57	739865,44
					28,464	133,307	313,307	-		133,314	-19,526	20,710	0,0174	-0,004	-19,509	20,707		
22	199	7	12	199,120					0,007								9919926,07	739886,15
					7,967	152,427	332,427	-		152,435	-7,063	3,687	0,0049	-0,001	-7,058	3,686		

23	205	6	9	205,103				0,008									9919919,01	739889,83
					26,967	177,530	357,530	-		177,537	-26,942	1,159	0,0165	-0,003	-26,926	1,155		
24	166	54	20	166,906				0,008									9919892,08	739890,99
					21,272	164,435	344,435	-		164,443	-20,493	5,705	0,0130	-0,003	-20,480	5,702		
25	177	15	29	177,258				0,008									9919871,6	739896,69
					24,979	161,693	341,693	-		161,702	-23,716	7,843	0,0153	-0,003	-23,701	7,839		
26	176	21	33	176,359				0,009									9919847,9	739904,53
					16,592	158,053	338,053	-		158,061	-15,390	6,199	0,0101	-0,002	-15,380	6,197		
27	125	46	31	125,775				0,009									9919832,52	739910,73
					27,205	103,828	283,828	-		103,837	-6,506	26,416	0,0166	-0,003	-6,490	26,412		
28	200	38	43	200,645				0,009									9919826,03	739937,14
					27,958	124,473	304,473	-		124,482	-15,828	23,046	0,0171	-0,004	-15,811	23,042		
29	208	35	8	208,586				0,010									9919810,22	739960,18
					30,799	153,059	333,059	-		153,068	-27,459	13,950	0,0188	-0,004	-27,440	13,946		
30	178	40	62	178,684				0,010									9919782,78	739974,13
					34,499	151,743	331,743	-		151,752	-30,391	16,328	0,0211	-0,004	-30,369	16,323		
31	182	40	55	182,682				0,010									9919752,41	739990,45
					18,343	154,424	334,424	-		154,435	-16,547	7,916	0,0112	-0,002	-16,536	7,913		
32	177	35	27	177,591				0,011									9919735,87	739998,36
					20,357	152,015	332,0152778	-		152,026	-17,978	9,549	0,0124	-0,003	-17,966	9,546		
33	123	40	16	123,671				0,011									9919717,91	740007,91
					12,976	95,686	275,686	-		95,697	-1,288	12,912	0,0079	-0,002	-1,280	12,910		
34	211	62	31	212,042				0,011									9919716,63	740020,82
					12,5	127,728	307,728	-		127,739	-7,651	9,885	0,0076	-0,002	-7,643	9,883		
35	184	59	29	184,991				0,011									9919708,99	740030,7
					40,673	132,720	312,720	-		132,731	-27,599	29,876	0,0248	-0,005	-27,574	29,871		
36	183	45	40	183,761				0,012									9919681,41	740060,58

					18,774	136,481	316,481	-		136,493	-13,617	12,925	0,0115	-0,002	-13,605	12,922		
37	178	21	29	178,358					0,012								9919667,81	740073,5
					6,715	134,839	314,839	-		134,851	-4,736	4,761	0,0041	-0,001	-4,732	4,760		
38	158	12	33	158,209					0,012								9919663,07	740078,26
					24,52	113,048	293,048	-		113,060	-9,605	22,561	0,0150	-0,003	-9,590	22,558		
39	165	9	37	165,160					0,013								9919653,48	740100,82
					21,272	98,208	278,208	-		98,210	-3,038	21,054	0,0130	-0,003	-3,025	21,051		
AUX 7	180	39	17	180,655					0,013								9919869,94	740121,87
						98,863	278,863	-		98,876								
AUX 11																		
SUMA					7380,2383	1212,723					-276,257	952,347	0,7404	-0,154	-275,517	952,193		

Fuente: Los Autores.

## Anexo C

Nivelación.

### Verificación

$$\Sigma \text{Diferencia de nivel} = 314,444 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{Vista posterior} - \Sigma \text{Vista frontal} = 362,008 - 47,564$$

$$\Sigma \text{Vista posterior} - \Sigma \text{Vista frontal} = 314,444 \text{ m}$$

$$\Sigma \text{Diferencia de nivel} = \Sigma \text{Vista posterior} - \Sigma \text{Vista frontal} \text{ OK}$$

Error y corrección de niveles

Error = cota medida en punto BM5 – cota real del punto BM5

$$\text{Error} = (3277,444 - 3277,478) * 1000$$

$$\text{Error} = -34 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia} = m * \sqrt{\text{distancia recorrida (km)}}$$

$$\text{Tolerancia} = 25 * \sqrt{\frac{2078,24}{1000}}$$

$$\text{Tolerancia} = 36,04 \text{ mm}$$

Error < Tolerancia OK

Estaciones colocadas para la nivelación.

Estación	PV	Vista atrás	Vista Adelante	Diferencia	Cotas	# camb	comp	Estación	PV	Cotas correg.
E 1	BM1	1.128		0.977	2963.000			E 1	BM1	2963.000
	P1		0.151		2963.977				P1	2963.977
E 2	P1	3.012		2.891	2963.977	1	0.000358	E 2	P1	2963.977
	P2		0.121		2966.868				P2	2966.868
E 3	P2	3.942		3.788	2966.868	2	0.000358	E 3	P2	2966.868
	P3		0.154		2970.656				P3	2970.657
E 4	P3	5.821		5.738	2970.656	3	0.000358	E 4	P3	2970.657
	P4		0.083		2976.394				P4	2976.395
E 5	P4	3.866		3.854	2976.394	4	0.000358	E 5	P4	2976.395
	P5		0.012		2980.248				P5	2980.249
E 6	P5	5.423		5.336	2980.248	5	0.000358	E 6	P5	2980.249
	P6		0.087		2985.584				P6	2985.586
E 7	P6	5.009		4.987	2985.584	6	0.000358	E 7	P6	2985.586
	P7		0.022		2990.571				P7	2990.573
E 8	P7	5.011		4.990	2990.571	7	0.000358	E 8	P7	2990.573
	P8		0.021		2995.561				P8	2995.564
E 9	P8	4.681		4.633	2995.561	8	0.000358	E 9	P8	2995.564
	P9		0.048		3000.194				P9	3000.197
E 10	P9	5.227		5.074	3000.194	9	0.000358	E 10	P9	3000.197
	P10		0.153		3005.268				P10	3005.271
E 11	P10	5.407		5.213	3005.268	10	0.000358	E 11	P10	3005.271
	P11		0.194		3010.481				P11	3010.485
E 12	P11	4.766		4.537	3010.481	11	0.000358	E 12	P11	3010.485
	P12		0.229		3015.018				P12	3015.022

E 13	P12	4.355		4.067	3015.018	12	0.000358	E 13	P12	3015.022
	I3		0.288		3019.085				I3	3019.089
E 14	I3	0.947		-0.713	3019.085	13	0.000358	E 14	I3	3019.089
	BM2		1.66		3018.372				BM2	3018.377
E 15	BM2	1.66		1.319	3018.372	14	0.000358	E 15	BM2	3018.377
	P13		0.341		3019.691				P13	3019.696
E 16	P13	3.162		2.241	3019.691	15	0.000358	E 16	P13	3019.696
	P14		0.921		3021.932				P14	3021.937
E 17	P14	3.233		3.193	3021.932	16	0.000358	E 17	P14	3021.937
	P15		0.04		3025.125				P15	3025.131
E 18	P15	3.543		3.510	3025.125	17	0.000358	E 18	P15	3025.131
	P16		0.033		3028.635				P16	3028.641
E 19	P16	4.897		4.684	3028.635	18	0.000358	E 19	P16	3028.641
	P17		0.213		3033.319				P17	3033.325
E 20	P17	2.794		2.783	3033.319	19	0.000358	E 20	P17	3033.325
	P18		0.011		3036.102				P18	3036.109
E 21	P18	4.99		4.668	3036.102	20	0.000358	E 21	P18	3036.109
	P19		0.322		3040.77				P19	3040.777
E 22	P19	3.015		1.077	3040.77	21	0.000358	E 22	P19	3040.777
	P20		1.938		3041.847				P20	3041.855
E 23	P20	1.938		1.774	3041.847	22	0.000358	E 23	P20	3041.855
	P21		0.164		3043.621				P21	3043.629
E 24	P21	4.184		4.140	3043.621	23	0.000358	E 24	P21	3043.629
	P22		0.044		3047.761				P22	3047.769
E 25	P22	4.679		4.396	3047.761	24	0.000358	E 25	P22	3047.769
	P23		0.283		3052.157				P23	3052.166
E 26	P23	5.826		5.558	3052.157	25	0.000358	E 26	P23	3052.166
	P24		0.268		3057.715				P24	3057.724
E 27	P24	2.675		2.605	3057.715	26	0.000358	E 27	P24	3057.724
	P25		0.07		3060.32				P25	3060.329
E 28	P25	1.995		1.316	3060.32	27	0.000358	E 28	P25	3060.329
	P26		0.679		3061.636				P26	3061.646
E 29	P26	2.375		2.311	3061.636	28	0.000358	E 29	P26	3061.646
	P27		0.064		3063.947				P27	3063.957
E 30	P27	2.668		2.182	3063.947	29	0.000358	E 30	P27	3063.957
	P28		0.486		3066.129				P28	3066.139
E 31	P28	6.678		6.491	3066.129	30	0.000358	E 31	P28	3066.139
	P29		0.187		3072.62				P29	3072.631
E 32	P29	3.694		3.274	3072.62	31	0.000358	E 32	P29	3072.631
	P30		0.42		3075.894				P30	3075.905
E 33	P30	5.042		4.931	3075.894	32	0.000358	E 33	P30	3075.905
	P31		0.111		3080.825				P31	3080.836
E 34	P31	3.681		3.452	3080.825	33	0.000358	E 34	P31	3080.836
	P32		0.229		3084.277				P32	3084.289
E 35	P32	2.423		0.993	3084.277	34	0.000358	E 35	P32	3084.289
	P33		1.43		3085.27				P33	3085.282
E 36	P33	4.54		4.502	3085.27	35	0.000358	E 36	P33	3085.282
	P34		0.038		3089.772				P34	3089.785
E 37	P34	3.968		3.872	3089.772	36	0.000358	E 37	P34	3089.785
	P35		0.096		3093.644				P35	3093.657
E 38	P35	2.894		2.311	3093.644	37	0.000358	E 38	P35	3093.657
	P36		0.583		3095.955				P36	3095.968
E 39	P36	5.188		5.061	3095.955	38	0.000358	E 39	P36	3095.968
	P37		0.127		3101.016				P37	3101.030
E 40	P37	4.245		4.081	3101.016	39	0.000358	E 40	P37	3101.030
	P38		0.164		3105.097				P38	3105.111
E 41	P38	5.258		4.600	3105.097	40	0.000358	E 41	P38	3105.111
	P39		0.658		3109.697				P39	3109.711
E 42	P39	4.587		4.462	3109.697	41	0.000358	E 42	P39	3109.711
	P40		0.125		3114.159				P40	3114.174
E 43	P40	3.79		3.599	3114.159	42	0.000358	E 43	P40	3114.174
	P41		0.191		3117.758				P41	3117.773
E 44	P41	4.29		4.023	3117.758	43	0.000358	E 44	P41	3117.773
	P42		0.267		3121.781				P42	3121.796
E 45	P42	4.029		3.997	3121.781	44	0.000358	E 45	P42	3121.796
	P43		0.032		3125.778				P43	3125.794
E 46	P43	3.467		3.459	3125.778	45	0.000358	E 46	P43	3125.794
	P44		0.008		3129.237				P44	3129.253
E 47	P44	3.031		2.865	3129.237	46	0.000358	E 47	P44	3129.253
	P45		0.166		3132.102				P45	3132.118
E 48	P45	2.429		2.302	3132.102	47	0.000358	E 48	P45	3132.118



		P46		0.127		3134.404					P46	3134.421
E	49	P46	3.588		3.543	3134.404	48	0.000358	E	49	P46	3134.421
		P47		0.045		3137.947					P47	3137.964
E	50	P47	3.109		2.976	3137.947	49	0.000358	E	50	P47	3137.964
		P48		0.133		3140.923					P48	3140.941
E	51	P48	3.693		3.159	3140.923	50	0.000358	E	51	P48	3140.941
		P49		0.534		3144.082					P49	3144.100
E	52	P49	6.249		6.148	3144.082	51	0.000358	E	52	P49	3144.100
		P50		0.101		3150.23					P50	3150.248
E	53	P50	3.841		3.663	3150.23	52	0.000358	E	53	P50	3150.248
		P51		0.178		3153.893					P51	3153.912
E	54	P51	4.746		4.049	3153.893	53	0.000358	E	54	P51	3153.912
		P52		0.697		3157.942					P52	3157.961
E	55	P52	6.949		6.905	3157.942	54	0.000358	E	55	P52	3157.961
		P53		0.044		3164.847					P53	3164.866
E	56	P53	4.456		3.800	3164.847	55	0.000358	E	56	P53	3164.866
		P54		0.656		3168.647					P54	3168.667
E	57	P54	4.02		3.593	3168.647	56	0.000358	E	57	P54	3168.667
		P55		0.427		3172.24					P55	3172.260
E	58	P55	5.038		4.073	3172.24	57	0.000358	E	58	P55	3172.260
		P56		0.965		3176.313					P56	3176.333
E	59	P56	5.61		5.582	3176.313	58	0.000358	E	59	P56	3176.333
		P57		0.028		3181.895					P57	3181.916
E	60	P57	4.999		4.397	3181.895	59	0.000358	E	60	P57	3181.916
		P58		0.602		3186.292					P58	3186.313
E	61	P58	3.542		2.663	3186.292	60	0.000358	E	61	P58	3186.313
		P59		0.879		3188.955					P59	3188.976
E	62	P59	3.581		2.859	3188.955	61	0.000358	E	62	P59	3188.976
		P60		0.722		3191.814					P60	3191.836
E	63	P60	0.604		-0.489	3191.814	62	0.000358	E	63	P60	3191.836
		P61		1.093		3191.325					P61	3191.347
E	64	P61	4.318		3.721	3191.325	63	0.000358	E	64	P61	3191.347
		P62		0.597		3195.046					P62	3195.069
E	65	P62	4.462		4.119	3195.046	64	0.000358	E	65	P62	3195.069
		P63		0.343		3199.165					P63	3199.188
E	66	P63	2.055		1.912	3199.165	65	0.000358	E	66	P63	3199.188
		P64		0.143		3201.077					P64	3201.100
E	67	P64	1.521		0.460	3201.077	66	0.000358	E	67	P64	3201.100
		P65		1.061		3201.537					P65	3201.561
E	68	P65	5.546		5.374	3201.537	67	0.000358	E	68	P65	3201.561
		P66		0.172		3206.911					P66	3206.935
E	69	P66	4.668		4.626	3206.911	68	0.000358	E	69	P66	3206.935
		P67		0.042		3211.537					P67	3211.561
E	70	P67	6.766		5.804	3211.537	69	0.000358	E	70	P67	3211.561
		P68		0.962		3217.341					P68	3217.366
E	71	P68	5.009		3.542	3217.341	70	0.000358	E	71	P68	3217.366
		P69		1.467		3220.883					P69	3220.908
E	72	P69	4.468		3.180	3220.883	71	0.000358	E	72	P69	3220.908
		P70		1.288		3224.063					P70	3224.088
E	73	P70	2.746		2.204	3224.063	72	0.000358	E	73	P70	3224.088
		P71		0.542		3226.267					P71	3226.293
E	74	P71	5.844		5.234	3226.267	73	0.000358	E	74	P71	3226.293
		P72		0.61		3231.501					P72	3231.527
E	75	P72	2.964		2.773	3231.501	74	0.000358	E	75	P72	3231.527
		P73		0.191		3234.274					P73	3234.300
E	76	P73	6.143		5.884	3234.274	75	0.000358	E	76	P73	3234.300
		P74		0.259		3240.158					P74	3240.185
E	77	P74	6.879		6.764	3240.158	76	0.000358	E	77	P74	3240.185
		P75		0.115		3246.922					P75	3246.949
E	78	P75	1.888		1.266	3246.922	77	0.000358	E	78	P75	3246.949
		P76 (Y)		0.622		3248.188					P76 (Y)	3248.216
E	79	P76 (Y)	4.699		3.800	3248.188	78	0.000358	E	79	P76 (Y)	3248.216
		P77		0.899		3251.988					P77	3252.016
E	80	P77	1.539		0.728	3251.988	79	0.000358	E	80	P77	3252.016
		P78		0.811		3252.716					P78	3252.744
E	81	P78	4.319		3.128	3252.716	80	0.000358	E	81	P78	3252.744
		P79		1.191		3255.844					P79	3255.873
E	82	P79	2.449		1.680	3255.844	81	0.000358	E	82	P79	3255.873
		P80		0.769		3257.524					P80	3257.553
E	83	P80	1.726		0.057	3257.524	82	0.000358	E	83	P80	3257.553
		P81		1.669		3257.581					P81	3257.610

E 84	P81	1.519		0.348	3257.581	83	0.000358	E 84	P81	3257.610
	P84		1.171		3257.929				P84	3257.959
E 85	P84	1.819		1.081	3257.929	84	0.000358	E 85	P84	3257.959
	P85		0.738		3259.01				P85	3259.040
E 86	P85	2.98		2.664	3259.01	85	0.000358	E 86	P85	3259.040
	P86		0.316		3261.674				P86	3261.704
E 87	P86	4.068		3.739	3261.674	86	0.000358	E 87	P86	3261.704
	P87		0.329		3265.413				P87	3265.444
E 88	P87	2.47		1.165	3265.413	87	0.000358	E 88	P87	3265.444
	P88		1.305		3266.578				P88	3266.609
E 89	P88	3.375		3.074	3266.578	88	0.000358	E 89	P88	3266.609
	P89		0.301		3269.652				P89	3269.683
E 90	P89	1.295		0.206	3269.652	89	0.000358	E 90	P89	3269.683
	P90		1.089		3269.858				P90	3269.890
E 91	P90	2.469		1.311	3269.858	90	0.000358	E 91	P90	3269.890
	P91		1.158		3271.169				P91	3271.201
E 92	P91	1.624		1.012	3271.169	91	0.000358	E 92	P91	3271.201
	P92		0.612		3272.181				P92	3272.214
E 93	P92	4.351		3.569	3272.181	92	0.000358	E 93	P92	3272.214
	P93		0.782		3275.75				P93	3275.783
E 94	P93	0.785		-2.494	3275.75	93	0.000358	E 94	P93	3275.783
	P94		3.279		3273.256				P94	3273.289
E 95	P94	0.907		-0.084	3273.256	94	0.000358	E 95	P94	3273.289
	BM6		0.991		3273.172				BM6	3273.206
E 96	BM6	4.849		4.272	3273.172	95	0.000358	E 96	BM6	3273.206
	BM5		0.577		3277.444				BM5	3277.478

Fuente: Los Autores.

### Puntos del levantamiento topográfico.

Identificación	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m)	Identificación	Coordenadas UTM		Elevación (m.s.n.m)
	Norte	Este			Norte	Este	
BM1	9920008.893	738622.967	2963.000	P47	9919916.148	739770.006	3137.964
P1	9920000.796	738676.357	2963.977	P48	9919926.068	739776.047	3140.941
P2	9919996.447	738705.029	2966.868	P49	9919935.127	739782.553	3144.100
P3´	9919988.562	738763.557	2969.128	P50	9919941.722	739800.689	3150.248
P3´´	9919988.562	738783.557	2969.890	P51	9919946.337	739814.467	3153.912
P3	9919981.602	738802.909	2970.657	P52	9919948.946	739823.902	3157.961
P4	9919976.134	738838.967	2976.395	P53	9919953.114	739854.895	3164.866
P5	9919970.665	738875.025	2980.249	P54	9919953.849	739865.568	3168.667
P6	9919965.196	738911.082	2985.586	P55	9919946.636	739857.140	3172.260
P7	9919959.728	738947.140	2990.573	P56	9919945.065	739865.711	3176.333
P8	9919954.257	738983.207	2995.564	P57	9919935.815	739875.800	3181.916
P9	9919948.789	739019.265	3000.197	P58	9919925.675	739886.282	3186.313
P10	9919943.320	739055.323	3005.271	P59	9919918.612	739889.970	3188.976
P11	9919937.851	739091.380	3010.485	P60	9919891.669	739891.135	3191.836
P12	9919932.383	739127.438	3015.022	P61	9919871.176	739896.844	3191.347
BM2	9919925.977	739169.674	3018.377	P62	9919847.839	739904.566	3195.069
P13	9919913.156	739208.181	3019.696	P63	9919832.448	739910.769	3199.188
P14	9919900.117	739247.208	3021.937	P64	9919827.652	739930.542	3201.100
P15	9919910.296	739268.227	3025.131	P65	9919825.941	739937.190	3201.561
P16	9919920.421	739289.273	3028.641	P66	9919810.111	739960.242	3206.935
P17	9919930.454	739310.381	3033.325	P67	9919782.652	739974.198	3211.561
P18	9919892.137	739338.717	3036.109	P68	9919752.524	739990.392	3217.366
P19	9919892.137	739349.363	3040.777	P69	9919735.976	739998.311	3220.908
P20	9919872.818	739352.964	3041.855	P70	9919717.997	740007.865	3224.088
P21	9919880.412	739366.283	3043.629	P71	9919716.709	740020.779	3226.293
P22	9919887.861	739379.678	3047.769	P72	9919709.057	740030.667	3231.527
P23	9919895.141	739393.174	3052.166	P73	9919699.789	740040.667	3234.300
P24	9919913.961	739420.930	3057.724	P74	9919681.457	740060.552	3240.185
P25	9919911.059	739448.036	3060.329	P75	9919667.840	740073.481	3246.949
P26	9919909.808	739457.214	3061.646	P76 (Y)	9919663.104	740078.243	3248.216
P27	9919909.622	739472.564	3063.957	P77	9919653.498	740100.808	3252.016
P28	9919908.979	739488.151	3066.139	P78	9919650.463	740121.867	3252.744
P29	9919905.872	739513.004	3072.631	P79	9919643.792	740177.321	3255.873

P30	9919904.498	739521.462	3075.905	P80	9919655.408	740205.320	3257.553
P31	9919899.700	739534.072	3080.836	P81	9919642.712	740218.519	3257.610
P32	9919890.595	739557.018	3084.289	P82	9919626.493	740223.807	3257.959
P33	9919889.302	739559.706	3085.282	P83	9919611.742	740225.071	3257.909
P34	9919882.576	739578.293	3089.785	P84	9919605.017	740225.648	3253.040
P35	9919883.715	739601.017	3093.657	P85	9919598.291	740226.224	3259.040
P36	9919883.675	739608.810	3095.968	P86	9919595.009	740231.801	3261.704
P37	9919886.817	739621.439	3101.030	P87	9919590.907	740238.772	3265.444
P38	9919890.346	739637.435	3105.111	P88	9919586.450	740245.414	3266.609
P39	9919892.119	739647.216	3109.711	P89	9919570.350	740259.639	3269.683
P40	9919895.523	739667.010	3114.174	P90	9919554.249	740273.864	3269.890
P41	9919897.052	739676.998	3117.773	P91	9919544.068	740291.075	3271.201
P42	9919899.733	739697.173	3121.796	P92	9919538.998	740299.647	3272.214
P43	9919897.429	739720.233	3125.794	P93	9919529.870	740302.527	3275.783
P44	9919905.696	739736.203	3129.253	P94	9919515.876	740311.504	3273.289
P45	9919909.591	739747.253	3132.118	BM6	9919498.383	740322.724	3273.206
P46	9919913.083	739758.515	3134.421	BM5	9919478.500	740326.559	3277.477

*Fuente: Los Autores.*

**Anexo D**

*Análisis físico – químico de la fuente.*



**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
MUNICIPAL DEL CANTÓN LATACUNGA**

**DIRECCIÓN FINANCIERA**

**CONTRIBUYENTE : CHICAIZA ORTEGA SEGUNDO FRANCISCO**

RUC/Cédula : 1706346499 Clu : 3758

**ANALISIS DE AGUA**

Correspondiente : **DICIEMBRE - 2019**

Dirección contribuyente : Parroquia: LA MATRIZ Barrio: TE Calle: ALBERTO SEMANATE

Rubro / Componente	Valor
ANALISIS DE AGUA	20,00
APORTE A LA MAMA NEGRA	0,50
S. T. A.	3,94

Clave : 1365888

Nro. Emisión : 2117601

Fecha de Impresión: 10-12-2019 10:31:48

Número de Pago : 675700

Fecha Emisión : 09-12-2019

Fecha Obligación : 09-01-2020

Fecha de Pago : 10-12-2019

Subtotal :	**** 24,44
Descuento :	**** 0,00
Coactiva :	**** 0,00
Recargo :	**** 0,00
Interés :	**** 0,00
Iva :	**** 0,00
	<b>**** 24,44</b>

**Descripción : AREAS RURAL DESCRIPCION FISICO QUIMICOS VALOR : 20,00**  
**Detalle: ANALISIS DE AGUA FISICO-QUIMICO OFICIO N° 2019-143-JPTAPM**  
**(VERTIENTE YACU UBIANA 3 PIEDRAS) SIGCHOS**



1531 CABILDO 1581

  
**Jefe(a) de Rentas**

  
**Tesorero(a)**

**AGUA POTABLE VENTANILLA**

**RECAUDADOR(a) DANIELO ABISALON**



Municipio de  
**Latacunga**



**DIRECCION MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO  
LATACUNGA**

Fecha: 6 de diciembre de 2019

Of. N°: 2019-243-JPTAPM

Ingeniero  
Geovanny Córdor  
DIRECTOR DE DIMAPAL  
Presente.-

**DIMAPAL**  
DIRECCION PUBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE  
Y ALCANTARILLADO DE LATACUNGA  
RECIBIDO POR *[Firma]*  
RECIBIDO EL 19 NOVIEMBRE 2019

Adjunto se servirá encontrar los reportes de laboratorio de los últimos análisis físico-químicos realizados, los mismos que permiten concluir lo siguiente :

- Análisis 084, muestra 174 ( Jta. A. P. Quinto y Sigchos) : Los parámetros analizados están dentro de los límites para aguas potables. ✓ pag
- Análisis 084, muestra 175 (Jta. A. P. Callo Manchero, Muialó) : Los parámetros analizados están dentro de los límites para aguas potables.
- Análisis 085, muestra 176 (Jta. A.P. Comunidad Cushca) : Los parámetros analizados están dentro de los límites para aguas potables.
- Análisis 085, muestra 177 ( Fuente San Felipe, P. Eloy Alfaro) : Los parámetros analizados están dentro de los límites para aguas potables.

Por la atención, anticipo mis agradecimientos.

Atentamente,

*[Firma]*  
Tigo: Juan C. Escobar L.  
TECNICO DIMAPAL





# LATACUNGA

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL

DIRECCIÓN MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO "DIMAPAL"

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "LOMA DE ALCOCERES"

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA

			Limite máximo permitido (Norma INEN 1108)
Número de la muestra	174		
Número del análisis	084		
Procedencia	Jta. A.P. Quintizuri		
Dirección	Sigchos		
Fecha de toma	2 de diciembre 2019		
Tomado por	Sr. Segundo Chicaiza		
Fecha de análisis	3 de diciembre de 2019		
Color	6 Upt.co		15 Upt.co
Turbiedad	0.65 NTU		5 NTU
pH	7.04		No establecido
Conductividad	85.8 mhs/cm		" "
Alcalinidad	44 mg/l		" "
Dureza	36 mg/l		" "
Calcio	11.2 mg/l		" "
Sulfatos	0 mg/l		" "
Nitratos	0.2 mg/l		50 mg/l
Nitritos	0.009 mg/l		3.0 mg/l
Mg.	1.95 mg/l		No establecido
Carbonatos	0 mg/l		" "
Bicarbonatos	44 mg/l		" "
Dureza Carbonatada	36 mg/l		" "
Dureza no Carbonatada	0 mg/l		
Sólidos disueltos totales	40.6 mg/l		
Fluor	0.10 mg/l		1.5 mg/l
Fosfatos (Ortofosfato)	0.36 mg/l		" "

Tigo: Juan C. Escobar L.  
ANALISTA RESPONSABLE



## Anexo E

Análisis físico – químico de la empresa productora y comercializadora vino de mortiño "El último Inca".



INF.DIV-ML.45320a

<b>Cliente:</b>	ASOCIACION DE PRODUCTORES Y COMERCIALIZADORES AGROPECUARIOS DE QUINTICUSIG	
<b>Dirección:</b>	QUINTICUSIG	
<b>Muestra de:</b>	AGUA	
<b>Descripción:</b>	MUESTRA DE AGUA EN PET	
<b>Lote:</b>	N/A	
<b>Tamaño de la Muestra:</b>	4 unidades de 200 ml	
<b>Material de envase:</b>	Polietileno de tereftalato	
<b>Fecha:</b>	18/05/2018	
<b>Toma de muestra realizada:</b>	El Cliente	

### RESULTADOS

PARAMETROS	RESULTADO	Limite máximo o NORMA INEN 1108
Color	6 Upt.co	15 Upt.co
Turbiedad	0,6 NTU	5 NTU
pH	7,08	No establecido
Conductividad	85,1 mhs/cm	No establecido
Alcalinidad	42 mg/l	No establecido
Dureza	28 mg/l	No establecido
Calcio	10,8 mg/l	No establecido
Sulfatos	0 mg/l	No establecido
Nitratos	0 mg/l	50 mg/l
Nitritos	0,003 mg/l	3 mg/l
Mg	1,86 mg/l	No establecido
Carbonatos	0 mg/l	No establecido
Bicarbonatos	40 mg/l	No establecido
Dureza Carbonatada	28 mg/l	No establecido
Dureza no Carbonatada	0 mg/l	No establecido
Solidos totales disueltos	40 mg/l	No establecido
Fosfatos	0,26 mg/l	No establecido
Flúor	0,1 mg/l	1,5 mg/l

Cualquier información adicional correspondiente a los ensayos está a disposición del cliente cuando lo solicite.

Ing. José Carrera  
ASISTENTE TÉCNICO

EDMUNDO CHIRIBOGA N47-154 Y JORGE ANIBAL PAEZ  
La concepcion - QUITO - PICHINCHA - ECUADOR  
Telf: (02) 226 7895, 226 9743, 244 4670 / email: informes@multianalityca.com

RFQ-4.1-06 / Edición RG: 07

## Anexo F

Ensayo triaxial no consolidado-no drenado.



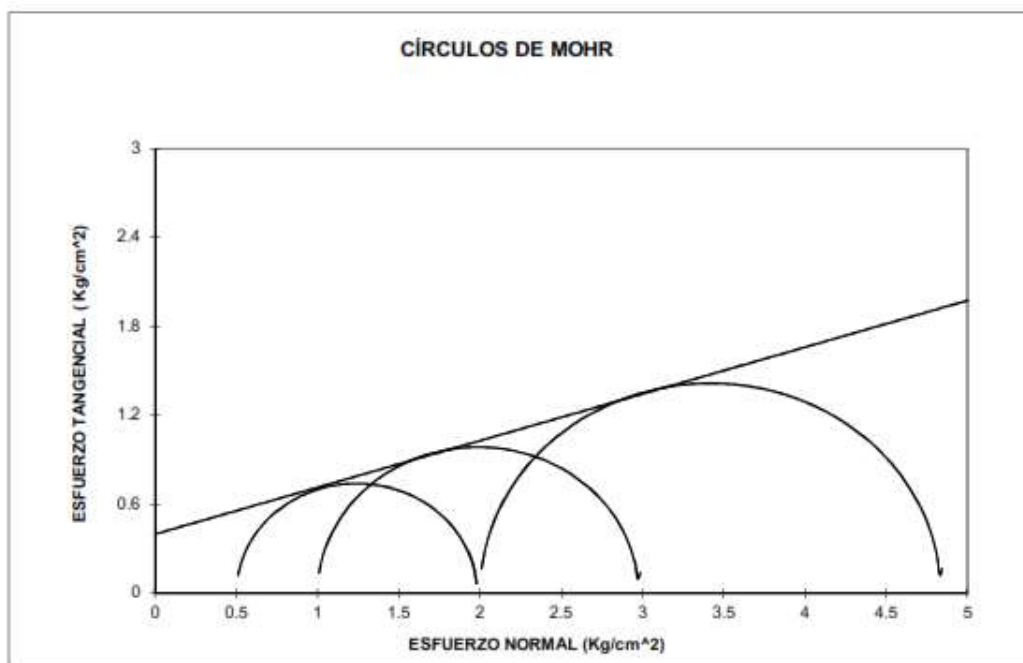
### ENSAYO TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

(NORMA ASTM: D 2850)

PROYECTO "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG – CANTÓN SIGCHOS"

UBICACIÓN Comuna Quinticusig - Parroquia Sigchos FECHA 12/10/2020

No	$\sigma$ desv. Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_3$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\sigma_1$ Kg/cm <sup>2</sup>	$(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ Kg/cm <sup>2</sup>	$(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ Kg/cm <sup>2</sup>
1	1.48	0.50	1.98	0.74	1.24
2	1.98	1.00	2.98	0.99	1.99
3	2.84	2.00	4.84	1.42	3.42



COHESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	0.4
FRICCIÓN (GRADOS)	17.5

DATOS DE ENSAYO		PROBETA No. 1	PROBETA No. 2	PROBETA No. 3
DIÁMETRO MEDIO	( cm )	3.57	3.55	3.58
ALTURA MEDIA	( cm )	6.79	6.81	7.0
HUMEDAD FINAL	( % )	21.78	21.68	21.69
DENSIDAD HÚMEDA	( gr/cm <sup>3</sup> )	1.590	1.591	1.591
DENSIDAD SECA	( gr/cm <sup>3</sup> )	1.306	1.307	1.307



PROYECTO "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG - CANTÓN SIGCHOS" MUESTRA No. 1  
 UBICACIÓN Comuna Quinticusig - Parroquia Sigchos PROFUND. 1.5  
 FECHA 12/10/2020

RESISTENCIA AL CORTE

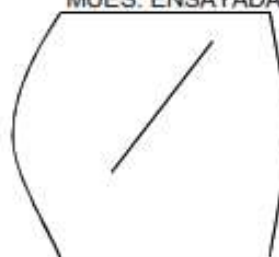
Ds 3.60 Peso inicial 108.20  
 Dc 3.57 Vol. inicial 68.03  
 Di 3.55 δ m. inicial 1.590 Cnte.anillo Kg 0.1120  
 Dm 3.57 δ d. inicial 1.306  
 Am 10.02  
 Hm 6.79 Presión lateral 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>

DEFORMACIÓN pulg x 10 <sup>-3</sup>	DIAL DE CARGA pulg x 10 <sup>-4</sup>	CARGA Kg	DEFOR. UNITARIA %	ESFUER.DESV. Kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	0.00	0.00
5	26	2.91	0.19	0.29
10	35	3.92	0.37	0.39
20	57	6.38	0.75	0.63
30	77	8.62	1.12	0.85
40	85	9.52	1.50	0.94
50	96	10.75	1.87	1.05
60	102	11.42	2.24	1.11
70	106	11.87	2.62	1.15
80	110	12.32	2.99	1.19
90	116	12.99	3.37	1.25
100	121	13.55	3.74	1.30
120	135	15.12	4.49	1.44
140	140	15.68	5.24	1.48
160	142	15.90	5.99	1.49
180	134	15.01	6.73	1.40

CONTENIDO DE HUMEDAD

CAPSULA No.	401
P. CAP. + S HUM	74.48
P.CAP + S.SECO	64.27
P. CAPSULA	17.39
HUMEDAD %	21.78

GRAFICO DE LA MUES. ENSAYADA



PROYECTO "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCION Y  
 OBRA TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG –  
 UBICACIÓN Comuna Quinticusig - Parroquia Sigchos" MUESTRA No. 2  
 PROFUND. 1.5  
 FECHA 12/10/2020

RESISTENCIA AL CORTE

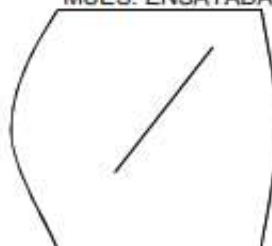
Ds 3.57 Peso inicial 107.12  
 Dc 3.55 Vol. inicial 67.34  
 Di 3.52 δ m. inicial 1.591 Cnte.anillo Kg 0.1120  
 Dm 3.55 δ d. inicial 1.307  
 Am 9.89  
 Hm 6.81 Presión lateral 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>

DEFORMACIÓN pulg x 10 <sup>-3</sup>	DIAL DE CARGA pulg x 10 <sup>-4</sup>	CARGA Kg	DEFOR. UNITARIA %	ESFUER.DESV. Kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	0.00	0.00
5	20	2.24	0.19	0.23
10	32	3.58	0.37	0.36
20	56	6.27	0.75	0.63
30	80	8.96	1.12	0.90
40	98	10.98	1.49	1.09
50	114	12.77	1.86	1.27
60	130	14.56	2.24	1.44
70	142	15.90	2.61	1.57
80	149	16.69	2.98	1.64
90	160	17.92	3.36	1.75
100	169	18.93	3.73	1.84
120	180	20.16	4.48	1.95
140	184	20.61	5.22	1.98
160	191	21.39	5.97	2.03
180	194	21.73	6.71	2.05
200	200	22.40	7.46	2.10
250	198	22.18	9.32	2.03

CONTENIDO DE HUMEDAD

CAPSULA No.	715
P. CAP. + S HUM	79.50
P. CAP + S. SECO	69.00
P. CAPSULA	20.56
HUMEDAD %	21.68

GRAFICO DE LA  
MUES. ENSAYADA



PROYECTO	"ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA CRUDA EN LA COMUNA QUINTICUSIG - CANTÓN SIGCHOS"	MUESTRA No.	3
OBRA		PROFUND.	1.5
UBICACIÓN	Comuna Quinticusig - Parroquia Sigchos	FECHA	44116

**RESISTENCIA AL CORTE**

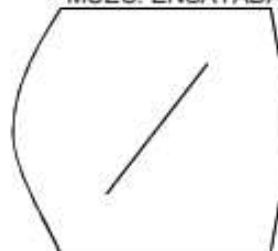
Ds	3.68	Peso inicial	112.3		
Dc	3.57	Vol. inicial	70.59		
Di	3.54	δ m. inicial	1.591	Cnte.anillo Kg	0.1120
Dm	3.58	δ d. inicial	1.307		
Am	10.08				
Hm	7.00	Presión lateral	2.0 Kg/cm <sup>2</sup>		

DEFORMACIÓN pulg x 10 <sup>-3</sup>	DIAL DE CARGA pulg x 10 <sup>-4</sup>	CARGA Kg	DEFOR. UNITARIA %	ESFUER.DESV. Kg/cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	0.00	0.00
5	21	2.35	0.18	0.23
10	35	3.92	0.36	0.39
20	61	6.83	0.73	0.67
30	88	9.86	1.09	0.97
40	110	12.32	1.45	1.20
50	126	14.11	1.81	1.37
60	144	16.13	2.18	1.56
70	160	17.92	2.54	1.73
80	183	20.50	2.90	1.97
90	209	23.41	3.27	2.25
100	229	25.65	3.63	2.45
120	250	28.00	4.35	2.66
140	269	30.13	5.08	2.84
160	286	32.03	5.81	2.99
180	294	32.93	6.53	3.05
200	290	32.48	7.26	2.99
250	290	32.48	9.07	2.93

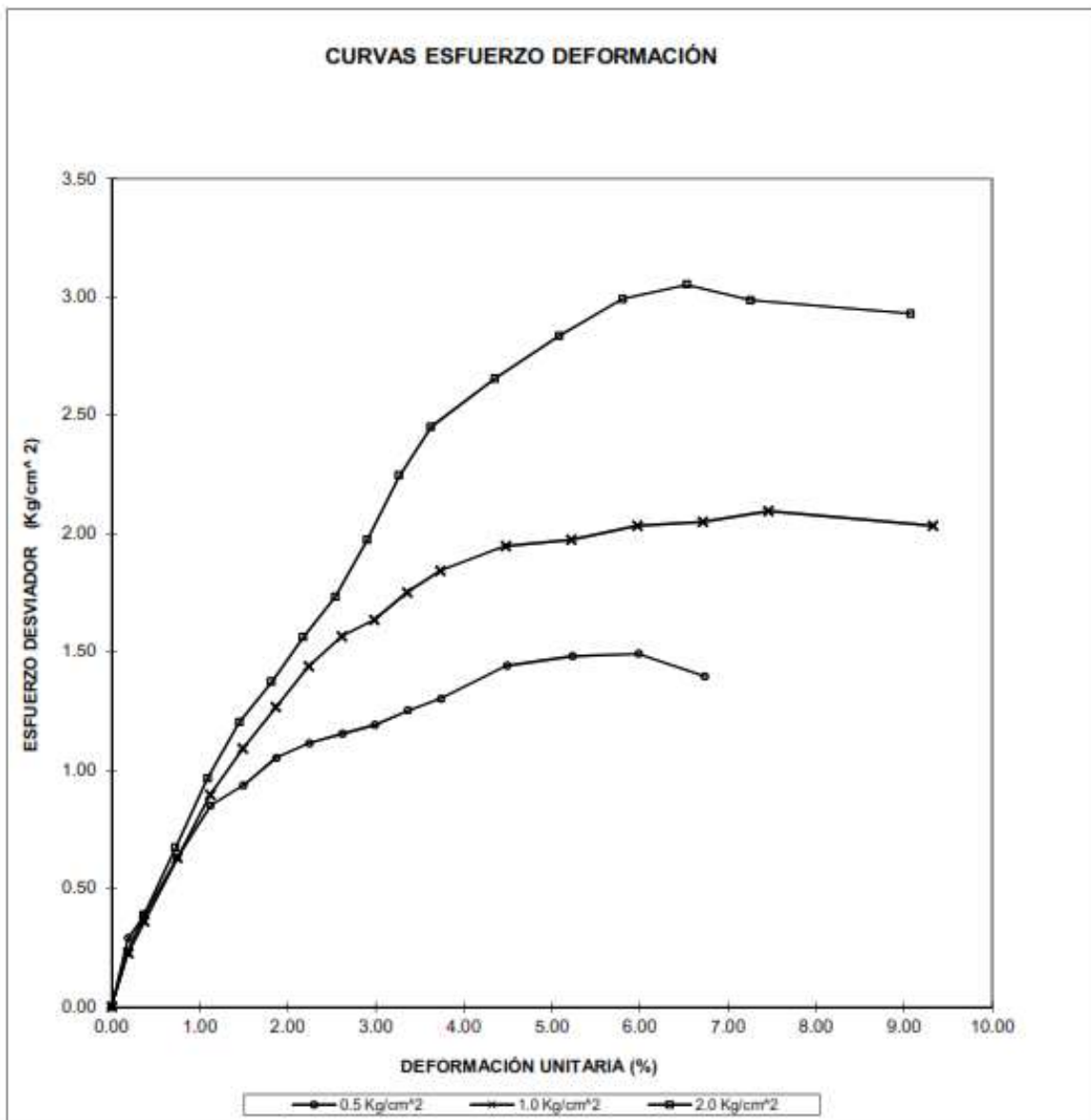
**CONTENIDO DE HUMEDAD**

CAPSULA No.	108
P. CAP. + S.HUM	80.00
P.CAP + S.SECO	69.10
P. CAPSULA	18.84
HUMEDAD %	21.69

**GRAFICO DE LA MUES. ENSAYADA**



PROYECTO	*ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL SISTEMA D MUESTRA No.	0
OBRA		PROFUND. 0
UBICACIÓN	Comuna Quinticusig - Parroquia Sigchos	FECHA 44116



## Anexo G

Registro del método volumétrico.

Ubicación: confluencia de caudales "Y"											
Fuente Yacubiana						Fuente Dos Piedras					
Fecha	27/6/2020					Fecha	27/6/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	16:42:00	0.00542	5.21	0.00104	1.039	1	16:47:00	0.00542	3.54	0.00153	1.530
2	16:43:00	0.00542	5.31	0.00102	1.020	2	16:49:00	0.00542	3.36	0.00161	1.612
3	16:44:00	0.00542	5.25	0.00103	1.031	3	16:50:00	0.00542	3.48	0.00156	1.556
4	16:45:00	0.00542	5.64	0.00096	0.960	4	16:51:00	0.00542	3.43	0.00158	1.579
5	16:46:00	0.00542	5.52	0.00098	0.981	5	16:52:00	0.00542	3.34	0.00162	1.621
			<b>Promedio</b>	0.00101	1.006				<b>Promedio</b>	0.00158	1.580
Fecha	28/6/2020					Fecha	28/6/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	17:16:00	0.00542	5.43	0.00100	0.997	1	17:18:00	0.00542	4.07	0.00133	1.331
2	17:17:00	0.00542	5.44	0.00100	0.995	2	17:19:00	0.00542	3.98	0.00136	1.361
3	17:17:00	0.00542	5.54	0.00098	0.977	3	17:19:00	0.00542	3.95	0.00137	1.371
4	17:18:00	0.00542	5.55	0.00098	0.976	4	17:20:00	0.00542	4.03	0.00134	1.344
5	17:18:00	0.00542	5.56	0.00097	0.974	5	17:20:00	0.00542	3.93	0.00138	1.378
			<b>Promedio</b>	0.00098	0.984				<b>Promedio</b>	0.00136	1.357
Fecha	30/6/2020					Fecha	30/6/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	12:11:00	0.00542	5.75	0.00094	0.942	1	12:13:00	0.00542	3.31	0.00164	1.636
2	12:12:00	0.00542	5.64	0.00096	0.960	2	12:14:00	0.00542	3.35	0.00162	1.616
3	12:13:00	0.00542	5.72	0.00095	0.947	3	12:14:00	0.00542	3.39	0.00160	1.597
4	12:13:00	0.00542	5.6	0.00097	0.967	4	12:14:00	0.00542	3.29	0.00165	1.646

5	12:13:00	0.00542	5.73	0.00095	0.945	5	12:14:00	0.00542	3.24	0.00167	1.671
			<b>Promedio</b>	0.00095	0.952				<b>Promedio</b>	0.00163	1.633
<b>Fecha</b>	<b>30/6/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>30/6/2020</b>				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	16:25:00	0.00542	5.85	0.00093	0.926	1	16:26:00	0.00542	3.25	0.00167	1.666
2	16:25:00	0.00542	5.81	0.00093	0.932	2	16:27:00	0.00542	3.28	0.00165	1.651
3	16:25:00	0.00542	5.81	0.00093	0.932	3	16:27:00	0.00542	3.17	0.00171	1.708
4	16:25:00	0.00542	5.78	0.00094	0.937	4	16:27:00	0.00542	3.15	0.00172	1.719
5	16:26:00	0.00542	5.89	0.00092	0.919	5	16:27:00	0.00542	3.15	0.00172	1.719
			<b>Promedio</b>	0.00093	0.929				<b>Promedio</b>	0.00169	1.693
<b>Fecha</b>	<b>1/7/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>1/7/2020</b>				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	8:55:00	0.00542	4.68	0.00116	1.157	1	8:58:00	0.00542	3.62	0.00150	1.496
2	8:55:00	0.00542	4.6	0.00118	1.177	2	8:58:00	0.00542	3.71	0.00146	1.460
3	8:55:00	0.00542	4.57	0.00118	1.185	3	8:58:00	0.00542	3.67	0.00148	1.476
4	8:56:00	0.00542	4.63	0.00117	1.170	4	8:59:00	0.00542	3.68	0.00147	1.472
5	8:56:00	0.00542	4.55	0.00119	1.190	5	8:59:00	0.00542	3.65	0.00148	1.484
			<b>Promedio</b>	0.00118	1.176				<b>Promedio</b>	0.00148	1.477
<b>Fecha</b>	<b>1/7/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>1/7/2020</b>				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	9:39:00	0.00542	5.93	0.00091	0.913	1	9:41:00	0.00542	4.69	0.00115	1.155
2	9:39:00	0.00542	5.95	0.00091	0.910	2	9:41:00	0.00542	4.64	0.00117	1.167
3	9:39:00	0.00542	5.97	0.00091	0.907	3	9:41:00	0.00542	4.71	0.00115	1.150
4	9:40:00	0.00542	6.08	0.00089	0.891	4	9:42:00	0.00542	4.62	0.00117	1.172
5	9:40:00	0.00542	6.03	0.00090	0.898	5	9:42:00	0.00542	4.72	0.00115	1.147
			<b>Promedio</b>	0.00090	0.904				<b>Promedio</b>	0.00116	1.158
<b>Fecha</b>	<b>2/7/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>2/7/2020</b>				

Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	8:09:00	0.00542	6.07	0.00089	0.892	1	8:12:00	0.00542	3.94	0.00137	1.374
2	8:09:00	0.00542	6.01	0.00090	0.901	2	8:12:00	0.00542	3.83	0.00141	1.414
3	8:09:00	0.00542	6.02	0.00090	0.900	3	8:12:00	0.00542	3.91	0.00138	1.385
4	8:10:00	0.00542	5.93	0.00091	0.913	4	8:13:00	0.00542	3.82	0.00142	1.418
5	8:10:00	0.00542	5.92	0.00091	0.915	5	8:13:00	0.00542	3.9	0.00139	1.389
			<b>Promedio</b>	0.00090	0.904				<b>Promedio</b>	0.00140	1.396
<b>Fecha</b>	<b>27/8/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>27/8/2020</b>				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	12:40:00	0.00542	7.83	0.00069	0.692	1	12:42:00	0.00542	3.43	0.00158	1.579
2	12:40:00	0.00542	7.75	0.00070	0.699	2	12:42:00	0.00542	3.34	0.00162	1.621
3	12:41:00	0.00542	7.81	0.00069	0.693	3	12:43:00	0.00542	3.3	0.00164	1.641
4	12:41:00	0.00542	7.87	0.00069	0.688	4	12:43:00	0.00542	3.39	0.00160	1.597
5	12:41:00	0.00542	7.75	0.00070	0.699	5	12:43:00	0.00542	3.4	0.00159	1.593
			<b>Promedio</b>	0.00069	0.694				<b>Promedio</b>	0.00161	1.606
<b>Fecha</b>	<b>27/8/2020</b>					<b>Fecha</b>	<b>27/8/2020</b>				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	14:08:00	0.00542	7.61	0.00071	0.712	1	14:04:00	0.00542	3.09	0.00175	1.753
2	14:08:00	0.00542	7.68	0.00071	0.705	2	14:04:00	0.00542	2.99	0.00181	1.811
3	14:08:00	0.00542	7.66	0.00071	0.707	3	14:04:00	0.00542	2.95	0.00184	1.836
4	14:08:00	0.00542	7.71	0.00070	0.702	4	14:04:00	0.00542	2.95	0.00184	1.836
5	14:08:00	0.00542	7.69	0.00070	0.704	5	14:04:00	0.00542	3.11	0.00174	1.741
			<b>Promedio</b>	0.00071	0.706				<b>Promedio</b>	0.00180	1.795

Fuente: Los Autores.

Ubicación: captación superficial "Dos Piedras"											
Ubicación	Tanque antiguo					Ubicación	Caída del ojo				
Fecha	30/6/2020					Fecha	30/6/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	16:42:00	0.00542	3.37	0.00161	1.607	1	16:47:00	0.00542	10.52	0.00051	0.515
2	16:43:00	0.00542	3.36	0.00161	1.612	2	16:49:00	0.00542	10.59	0.00051	0.511
3	16:44:00	0.00542	3.48	0.00156	1.556	3	16:50:00	0.00542	10.5	0.00052	0.516
4	16:45:00	0.00542	3.47	0.00156	1.561	4	16:51:00	0.00542	10.54	0.00051	0.514
5	16:46:00	0.00542	3.38	0.00160	1.602	5	16:52:00	0.00542	10.62	0.00051	0.510
			<b>Promedio</b>	0.00159	1.587				<b>Promedio</b>	0.00051	0.513
Ubicación	Tanque antiguo					Ubicación	Caída del ojo				
Fecha	1/7/2020					Fecha	1/7/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	16:42:00	0.00542	4.63	0.00117	1.170	1	16:47:00	0.00542	11.92	0.00045	0.454
2	16:43:00	0.00542	4.58	0.00118	1.182	2	16:49:00	0.00542	12.04	0.00045	0.450
3	16:44:00	0.00542	4.62	0.00117	1.172	3	16:50:00	0.00542	12.01	0.00045	0.451
4	16:45:00	0.00542	4.56	0.00119	1.188	4	16:51:00	0.00542	12.06	0.00045	0.449
5	16:46:00	0.00542	4.57	0.00118	1.185	5	16:52:00	0.00542	11.97	0.00045	0.452
			<b>Promedio</b>	0.00118	1.179				<b>Promedio</b>	0.00045	0.451
Ubicación	Tanque antiguo					Ubicación	Caída del ojo				
Fecha	27/8/2020					Fecha	27/8/2020				
Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)	Número de muestra	Hora de la toma	Volumen (m3)	Tiempo de llenado (s)	Caudal (m3/s)	Caudal (l/s)
1	13:12:00	0.00542	5.2	0.00104	1.041	1	16:47:00	0.00542	12.26	0.00044	0.442
2	13:12:00	0.00542	5.2	0.00104	1.041	2	16:49:00	0.00542	12.39	0.00044	0.437
3	13:12:00	0.00542	5.27	0.00103	1.028	3	16:50:00	0.00542	12.34	0.00044	0.439
4	13:12:00	0.00542	5.31	0.00102	1.020	4	16:51:00	0.00542	12.29	0.00044	0.441
5	13:12:00	0.00542	5.29	0.00102	1.024	5	16:52:00	0.00542	12.27	0.00044	0.441
			<b>Promedio</b>	0.00103	1.031				<b>Promedio</b>	0.00044	0.440

Fuente: Los Autores.



## Anexo H

### Diseño estructural de la captación.

Los parámetros necesarios para el diseño de la captación se muestran en la siguiente tabla:

Datos para el diseño			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Base de la captación	1.5	m	B
Largo de ambas cámaras	1	m	L
Altura de la lámina de agua en la cámara 1	0.65	m	Hcu1
Altura de la lámina de agua en la cámara 2	0.9	m	Hcu2
altura de la cámara 1	1.0	m <sup>3</sup>	Hc1
Altura de la cámara 2	1.35	m <sup>3</sup>	Hc2
Espesor del muro	0.2	m	em
Espesor de la losa de fondo	0.3	m	elf
Espesor de la losa superior	0.2	m	els
Altura total la captación	1.35	m	H
Altura del vertedero	0.65	m	Hv
Desnivel entre las cámaras	0.35	m	Hds
Peso específico del suelo	1662.00	kg/m <sup>3</sup>	γs
Capacidad portante del suelo	2.85	kg/cm <sup>2</sup>	qadm
Resistencia del hormigón	240	kg/cm <sup>2</sup>	f'c
Resistencia del acero	4200	kg/cm <sup>2</sup>	fy
Ángulo de fricción del suelo	17.5	°	Ø
Peso específico del hormigón armado	2400	kg/m <sup>3</sup>	γs
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>	γw

Fuente: Los Autores.

### Cargas Actuales.

Peso propio de la losa superior (P<sub>pls</sub>).

$$P_{pls} = \gamma_H * e_l * b$$

$$P_{pls} = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,20 m * 1,50 m$$

$$P_{pls} = 960 kg/m$$

Peso propio del muro (P<sub>pm</sub>).

$$P_{pm} = \gamma_H * e_m * b$$

$$P_{pm} = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,20 m * 1,50 m$$

$$P_{pm} = 720 kg/m$$

Peso propio de la losa de fondo (P<sub>plf</sub>).

$$P_{plf} = \gamma_H * e_l * b$$

$$P_{plf} = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,30 m * 1,50 m$$

$$P_{plf} = 960 \text{ kg/m}$$

Presión lateral del suelo ( $K_a$ ).

$$k_a = \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)^2$$

$$k_a = \tan\left(45 - \frac{17,50}{2}\right)^2 = 0,54$$

$$P_p = \gamma_s * k_a * H_{ds}$$

$$P_a = 1662 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0,54 * 0,35 \text{ m}$$

$$P_a = 312,737 \text{ kg/m}$$

Presión hidrostática ( $P_w$ ).

$$P_w = \gamma_w * H$$

$$P_w = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,35 \text{ m}$$

$$P_w = 1350 \text{ kg/m}^2$$

Reacción en la base por carga muerta ( $P_{rs}$ ).

$$P_{rs} = \frac{\text{Peso de los muros}}{\text{Longitud de la base}} + P_{pls} - P_{plf}$$

$$P_{rs} = \frac{(2400 * 1,00 * 0,20 * 1,35) + 2 * (2400 * 1,00 * 0,20 * 1,00)}{2} + 960 - 1080$$

$$P_{rs} = 672 \text{ kg/m}$$

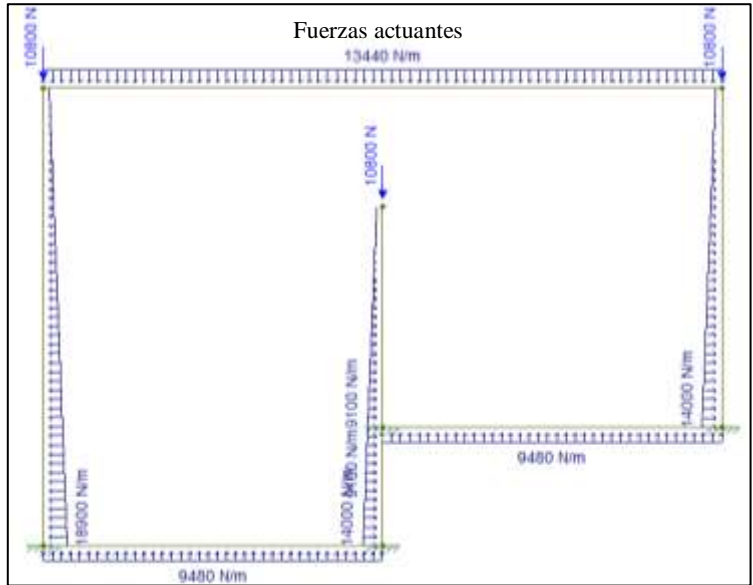
### Estados de cargas.

El primer estado de carga analiza la carga muerta de los muros y la losa superior, cuando la captación se encuentre en funcionamiento.

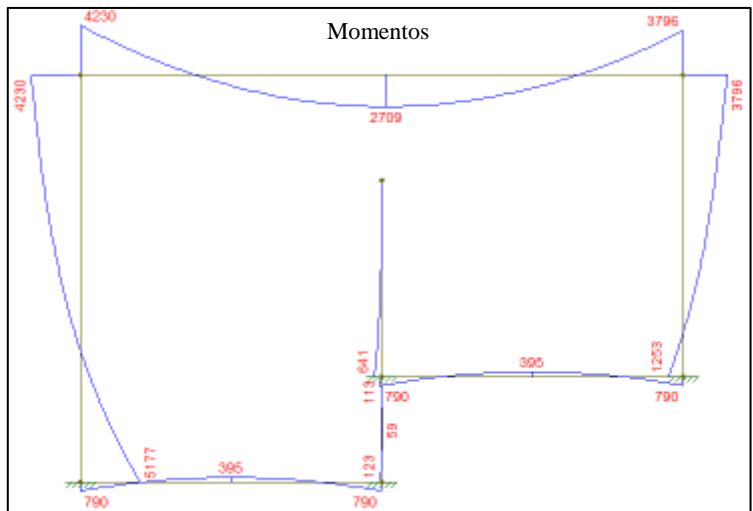
1.4 (D) + 1.4 (F)					
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad	Símbolo
Peso propio de la losa superior	1344	kg/m	13440	N/m	D
Peso propio del muro	1008	kg/m	10080	N/m	D
Presión hidrostática	1890	kg/m	18900	N/m	F

Fuente: Los Autores.

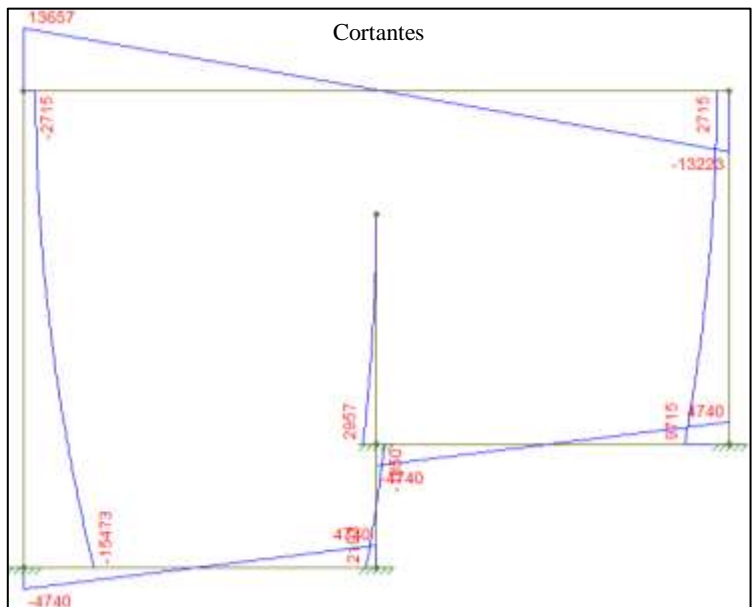
Los valores de momentos y fuerzas cortantes obtenidas con el software Ftools se muestran a continuación.



Fuente: Los Autores.



Fuente: Los Autores.



Fuente: Los Autores.

Momentos y cortantes obtenidos del software.				
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Momento positivo en muros	423	kg.m	4230	N.m
Momento negativo en muros	517.7	kg.m	5177	N.m
Momento positivo en losa superior	270.9	kg.m	2709	N.m
Momento negativo en losa superior	423	kg.m	4230	N.m
Cortante en el muro	1547.3	kg	15473	N
Cortante en losa superior	1365.7	kg	13657	N
Momento positivo en losa inferior	79	kg.m	790	N.m
Momento negativo en losa inferior	39.5	kg.m	395	N.m
Cortante en losa inferior	474	kg	4740	N

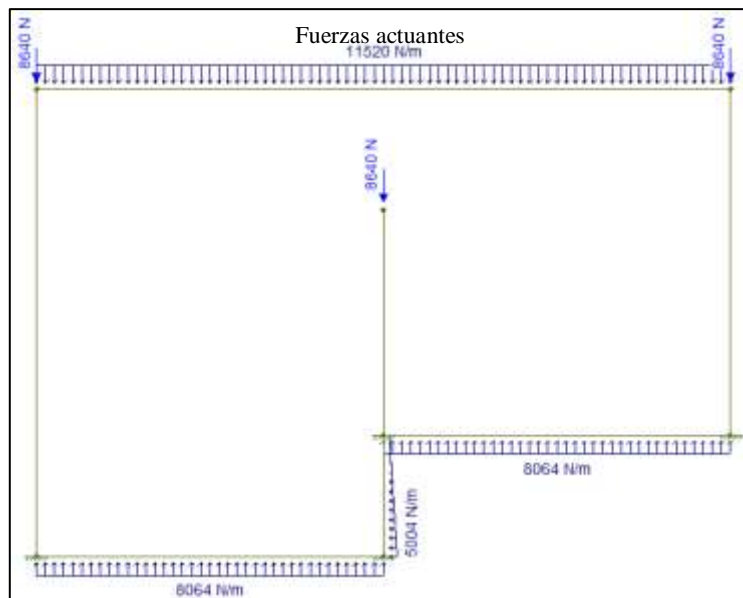
Fuente: Los Autores.

El segundo estado de carga analiza la carga muerta de los muros y la losa superior, cuando la captación se encuentra vacía y el efecto de esta sobre la losa de fondo, considerando el empuje de tierras que se tiene en el desnivel existente entre ambas cámaras.

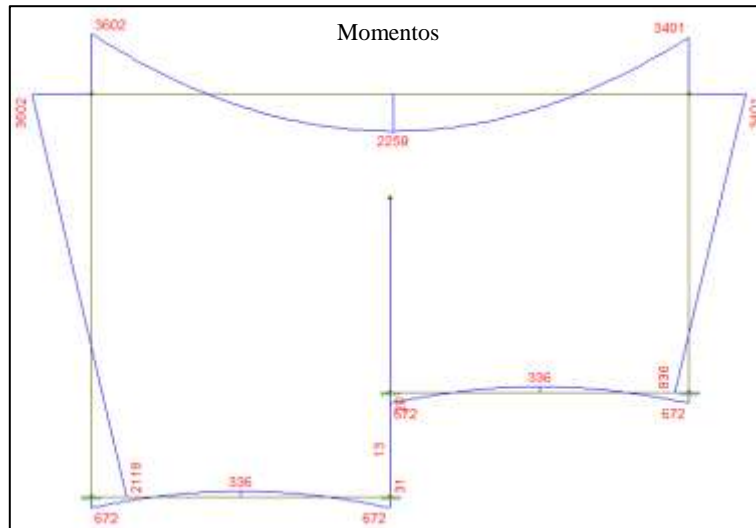
1.2 (D) + 1.6 (H)					
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad	Símbolo
Peso propio de la losa superior	1152	kg/m	11520	N/m	D
Peso propio del muro	864	kg/m	8640	N/m	D
Reacción en la base por carga muerta	806.40	kg/m	8064	N/m	D
Presión lateral de Tierras	500.38	kg/m	5004	N/m	H

Fuente: Los Autores.

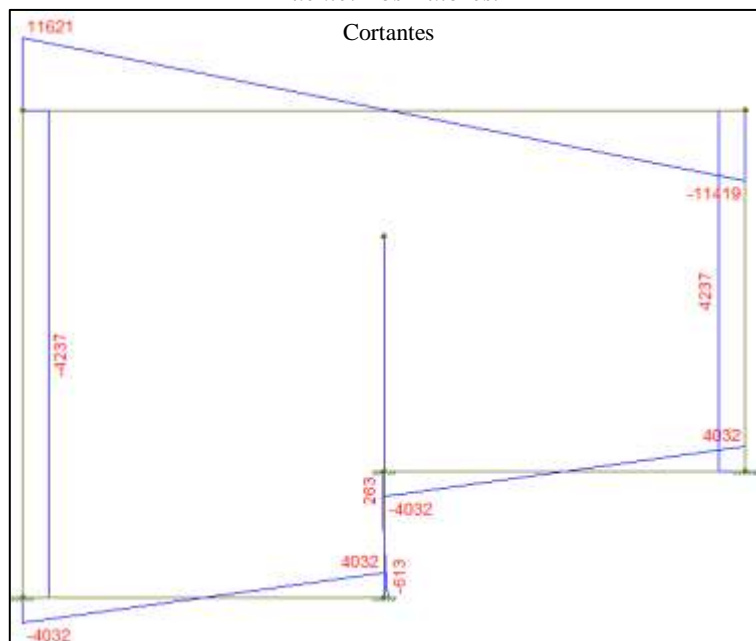
Los valores de momentos y fuerzas cortantes obtenidas con el software Ftools se muestran a continuación.



Fuente: Los Autores.



Fuente: Los Autores.



Fuente: Los Autores.

Momentos y cortantes obtenidos del software.				
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Momento positivo en muros	360.2	kg.m	3602	N.m
Momento negativo en muros	211.8	kg.m	2118	N.m
Momento positivo en losa superior	225.9	kg.m	2259	N.m
Momento negativo en losa superior	360.2	kg.m	3602	N.m
Cortante en el muro	423.7	kg	4237	N
Cortante en losa superior	1162.1	kg	11621	N
Momento positivo en losa inferior	33.6	kg.m	336	N.m
Momento negativo en losa inferior	67.2	kg.m	672	N.m
Cortante en losa inferior	403.2	kg	4032	N

Fuente: Los Autores.

En el diseño de los muros, losa superior y losa de fondo, se utilizó una resistencia a compresión del homigón de  $240 \text{ kg/cm}^2$  y una resistencia del acero de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ . Se manejó

el coeficiente de durabilidad ambiental dado en la (ACI 350, 2006), para evitar el agrietamiento en condiciones de servicio.

Los valores de momento y cortantes utilizados para el diseño y multiplicados por el coeficiente de durabilidad ambiental  $S_d = 1,3$  son los siguientes:

Parámetro	Valor	unidad	Símbolo
Momento en muros	673.01	kg.m	Mnm
Momento en losa superior	549.9	kg.m	Mnls
Cortante en el muro	2011.49	kg	Vm
Cortante en losa superior	1775.41	kg	Vls
Momento en losa de fondo	102.7	kg.m	Mplf
Cortante en losa de fondo	616.2	kg	Vlf

Fuente: Los Autores.

### Diseño a flexión.

Los refuerzos exteriores de los muros e inferiores de las losas se calcularon de la siguiente forma:

$$R_U = \frac{M_U}{\phi * b * d^2}$$

Siendo el valor de  $\phi$  igual a 0,9 para elementos a flexión según la norma (NEC-SE-HM, 2015),

Para el caso de los muros es:

$$R_U = \frac{673,01 \text{ kg.m}}{0,9 * 1 \text{ m} * 0,15 \text{ m}^2}$$

$$R_U = 33235,06 \text{ kg/m}^2$$

$$R_U = 3,32 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria de acero está dada por la siguiente formula:

$$\rho = 0,85 * \frac{f'c}{f_y} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_U}{f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,85 * \frac{240 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * 3,32 \text{ kg/cm}^2}{240 \text{ kg/cm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0,001$$

Con el valor de la cuantía de acero se calcula la cantidad de acero requerido con la siguiente expresión:

$$A_s = \rho * b * d$$

$$A_s = 0,001 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 1,2 \text{ cm}^2$$

El acero mínimo esta dado por la ecuación de la norma (NEC-SE-HM, 2015) indicada a continuación

$$A_s = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$A_s = \frac{14}{4200 \text{ kg/cm}^2} * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 5 \text{ cm}^2$$

El refuerzo transversal es el que se presenta debido a las contracciones por temperatura:

$$A_{st} = 0,0018 * b * e$$

$$A_{st} = 0,0018 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 3,6 \text{ cm}^2$$

Donde:

e: es el espesor del muro, losa superior o losa de fondo (m).

### Verificación a corte.

La resistencia a esfuerzo cortante del hormigón se calculó utilizando la siguiente ecuación.

$$V_c = 0,53 * 0,85 * \sqrt{f'c} * b * d$$

Con el cortante de diseño obtenido del software Ftools se iguala este al valor de  $V_c$ , a fin de calcular la altura útil mínima para que el hormigón absorba todo el esfuerzo a cortante, despejando el parametro de la altura útil.

$$d_{min} = \frac{V_U}{0,53 * 0,85 * \sqrt{f'c} * b}$$

$$d_{min} = \frac{2011,49}{0,53 * 0,85 * \sqrt{240 \text{ kg/cm}^2} * 100 \text{ cm}}$$

$$d_{min} = 2,88 \text{ cm}$$

La altura util minima obtenida se verifica con la altura util utilizada para el diseño por flexión.

$$d_{min} \leq d$$

$$2,88 \leq 15 \gggg \text{ ok}$$

Finalmente se calcula la longitud de desarrollo con la siguiente ecuación:

$$l_d = \frac{f'c}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)} * d_b$$

$$l_d = \frac{240 \text{ kg/cm}^2}{4,4 * \sqrt{240 \text{ kg/cm}^2}} * \frac{1 * 1 * 0,8}{(2,5)} * 1,2$$

$$l_d = 24 \text{ cm}$$

La longitud de desarrollo colocada es de 25 cm en forma de gancho de 90°.

En las tablas mostradas a continuación se indica el diseño a flexión, la verificación a corte, su armado y la longitud de desarrollo necesaria para los muros.

<b>Diseño a flexión de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Recubrimiento	0.05	m	r
Altura útil	0.15	m	d
Resistencia última	3.32	kg/cm2	Ru
Acero calculado	1.20	cm2	As
Acero mínimo	5	cm2	Asmin
<b>Verificación a cortante de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza de corte	2011.49	kg	Vu
Altura útil mínima	2.88	cm	dmin
Altura útil	15	cm	d
<b>longitud de desarrollo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Factor de modificación	1		ψe
Factor de modificación	1		ψt
Factor de modificación	0.8		ψs
Diámetro de la varilla	1.2	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2.5		
Longitud de desarrollo calculada	25	cm	Ldc

*Fuente: Los Autores.*

<b>Armado de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	Ø
Área de la varilla	1.13	cm2	Av
Acero colocado	5.65	cm2	Asc
Separación	25.0	cm	S
Configuración	5 φ 12 @ 25 cm		
Acero por temperatura	3.6	cm2	Ast
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	Ø
Área de la varilla	1.13	cm2	Av
Acero colocado	5.65	cm2	Asc
Separación	25.0	cm	S
Configuración	5 φ 12 @ 25 cm		

*Fuente: Los Autores.*

En las tablas mostradas a continuación se indica el diseño a flexión, la verificación a corte, su armado y la longitud de desarrollo necesaria para la losa de fondo.



<b>Diseño a flexión de la losa de fondo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Recubrimiento	0.05	m	r
Altura útil	0.25	m	d
Resistencia última	0.18	kg/cm <sup>2</sup>	Ru
Acero calculado	0.11	cm <sup>2</sup>	As
Acero mínimo	8.33	cm <sup>2</sup>	Asmin
<b>Verificación a cortante de la losa de fondo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza de corte	616.2	kg	Vu
Altura útil mínima	0.21	cm	dmin
Altura útil	25	cm	d
<b>longitud de desarrollo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Factor de modificación	1		ψe
Factor de modificación	1		ψt
Factor de modificación	0.8		ψs
Diámetro de la varilla	1.6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2.5		
Longitud de desarrollo calculada	35	cm	Ldc

Fuente: Los Autores.

<b>Armado de la losa de fondo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	16	mm	Ø
Área de la varilla	2.01	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	10.05	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 φ 16 @ 25 cm		
Acero por temperatura	5.4	cm <sup>2</sup>	Ast
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	16	mm	Ø
Área de la varilla	2.01	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	10.05	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 φ 16 @ 25 cm		

Fuente: Los Autores.

En las tablas mostradas a continuación se indica el diseño a flexión, la verificación a corte, su armado y la longitud de desarrollo necesaria para la losa superior.

<b>Diseño a flexión de la losa superior</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Recubrimiento	0.05	m	r
Altura útil	0.15	m	d
Resistencia última	9.93	kg/cm <sup>2</sup>	Ru
Acero calculado	3.65	cm <sup>2</sup>	As
Acero mínimo	5.00	cm <sup>2</sup>	Asmin
<b>Verificación a cortante de la losa superior</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza de corte	1775.41	kg	Vu
Altura útil mínima	0.61	cm	dmin

Altura útil	15	cm	d
longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación	1		$\psi_e$
Factor de modificación	1		$\psi_t$
Factor de modificación	0.8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1.2	cm	db
$(C_b+K_{tr})/db$	2.5		
Longitud de desarrollo calculada	24	cm	Ldc
28db	34	cm	
Longitud de desarrollo asumida	34	cm	Ld

Fuente: Los Autores.

Armado de la losa superior			
Parámetro	Valor	unidad	Símbolo
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	$\emptyset$
Área de la varilla	1.13	cm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub>
Acero colocado	5.65	cm <sup>2</sup>	A <sub>sc</sub>
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 $\phi$ 12 @ 25 cm		
Acero por temperatura	3.6	cm <sup>2</sup>	A <sub>st</sub>
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	$\emptyset$
Área de la varilla	1.13	cm <sup>2</sup>	A <sub>v</sub>
Acero colocado	5.65	cm <sup>2</sup>	A <sub>sc</sub>
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 $\phi$ 12 @ 25 cm		

Fuente: Los Autores.

## Anexo I

### Especificaciones técnicas de la tubería PVC

# TUBERÍAS

## SELLO ELASTOMÉRICO RIEBER

FABRICADO BAJO LA NORMA INEN 1331 e INEN 1373.

SELLO DE CALIDAD



Instituto Ecuatoriano de Normalización



# RIVAL

Tuberías + Conexiones +

DIAMETRO EXTERIOR D (mm)		ESPESOR DE PARED E (mm)		PRESION DE TRABAJO		SERIE DE TUBO
NOMINAL	TOLERANCIA	MINIMO	MAXIMO	MPa	PSI	S
50	+0,30	1,90	2,30	1,00	145	12,5
50	+0,30	2,40	2,90	1,25	181	10,0
63	+0,30	2,00	2,40	0,80	116	16,0
63	+0,30	2,50	3,00	1,00	145	12,5
63	+0,30	3,10	3,50	1,25	181	10,0
75	+0,30	1,90	2,30	0,63	91	20,0
75	+0,30	2,30	2,80	0,80	116	16,0
75	+0,30	2,90	3,40	1,00	145	12,5
90	+0,30	2,20	2,70	0,63	91	20,0
90	+0,30	2,80	3,30	0,80	116	16,0
90	+0,30	3,50	4,10	1,00	145	12,5
90	+0,30	4,30	5,00	1,25	181	10,0
110	+0,30	2,70	3,20	0,63	91	20,0
110	+0,30	3,40	4,00	0,80	116	16,0
110	+0,30	4,30	4,90	1,00	145	12,5
110	+0,30	5,30	6,00	1,25	181	10,0
125	+0,40	3,10	3,60	0,63	91	20,0
125	+0,40	3,90	4,50	0,80	116	16,0
140	+0,40	3,40	4,00	0,63	91	20,0
140	+0,40	4,30	5,00	0,80	116	16,0
160	+0,50	4,00	4,60	0,63	91	20,0
160	+0,50	5,00	5,60	0,80	116	16,0
160	+0,50	6,20	7,10	1,00	145	12,5
160	+0,50	7,70	8,70	1,25	181	10,0
200	+0,60	4,90	5,60	0,63	91	20,0
200	+0,60	6,20	7,10	0,80	116	16,0
200	+0,60	7,70	8,70	1,00	145	12,5
200	+0,60	9,60	10,80	1,25	181	10,0
250	+0,80	6,10	7,00	0,63	91	20,0
250	+0,80	7,80	8,80	0,80	116	16,0
250	+0,80	9,70	10,90	1,00	145	12,5
250	+0,80	12,00	13,40	1,25	181	10,0
315	+0,90	7,70	8,70	0,63	91	20,0
315	+0,90	9,80	10,80	0,80	116	16,0
315	+0,90	12,20	13,60	1,00	145	12,5
315	+0,90	15,10	16,80	1,25	181	10,0
355	+1,10	8,70	9,80	0,63	91	20,0
355	+1,10	11,00	12,10	0,80	116	16,0
355	+1,10	13,70	15,30	1,00	145	12,5
355	+1,10	17,00	18,90	1,25	181	10,0
400	+1,20	9,80	11,00	0,63	91	20,0
400	+1,20	12,40	13,50	0,80	116	16,0
400	+1,20	15,40	17,20	1,00	145	12,5
400	+1,20	19,10	21,30	1,25	181	10,0
450	+1,40	14,00	15,60	0,80	116	16,0
450	+1,40	17,30	19,23	1,00	145	12,5
450	+1,40	21,40	23,80	1,25	181	10,0
450	+1,40	27,10	30,01	1,60	232	8,0
500	+1,50	15,50	17,25	0,80	116	16,0
500	+1,50	19,20	21,35	1,00	145	12,5
500	+1,50	23,80	26,40	1,25	181	10,0
630	+1,90	15,50	17,25	0,63	91	20,0
630	+1,90	19,50	21,65	0,80	116	16,0
630	+1,90	24,20	26,55	1,00	145	12,5
630	+1,90	30,00	33,20	1,25	181	10,0

RE

Rev:02

Revisado: 2018- 10

pag: (3/3)

## Anexo J

*Diseño de la línea de aducción.*

La siguiente tabla indica el diseño completo de todos los tramos de la línea de aducción.

Anotación	Ubicación		Cota del Proyecto		Carga Hidráulica disponible	Longitud Horizontal	Perdidas locales (m)	Pérdida de Carga Unitaria (m/m)	Pendiente (%)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Longitud de la Tubería (m)	Longitud acumulada de la tubería (m)	Diámetro Calculado (mm)	Diámetro Comercial (mm)	Velocidad Calculada (m/s)	Velocidad Real (m/s)	Pérdida de Carga Unitaria (m)	Pérdida de Carga en el tramo "hf" (m)	Cota piezométrica (m.s.n.m.)	Presión Acumulada (m)
			Inicial (m.s.n.m.)	Final (m.s.n.m.)																
TRAMO 1			3277.48									0.00							3277.48	
	BM5	P94	3276.68	3272.489	4.19	40.294	0.0471	0.103	10.39	0.004	40.51	40.51	46.69	90.00	2.11	0.6	0.170	0.170	3276.51	0.000
	P94	P91	3272.49	3270.401	2.09	34.816	0.0471	0.059	6.00	0.004	34.88	75.39	52.40	90.00	1.67	0.6	0.147	0.317	3276.19	3.701
	P91	P90	3270.40	3269.09	1.31	19.997	0.0471	0.063	6.56	0.004	20.04	95.43	51.59	90.00	1.73	0.6	0.131	0.448	3275.74	5.340
	P90	P89	3269.09	3268.883	0.21	21.485	0.0471	0.007	0.96	0.004	21.49	116.92	80.05	90.00	0.72	0.6	0.137	0.59	3275.16	6.065
	P89	P88	3268.88	3265.809	3.074	21.485	0.0471	0.141	14.31	0.004	21.70	138.62	43.76	90.00	2.40	0.6	0.138	0.72	3274.43	5.548
	P88	P87	3265.81	3264.644	1.165	7.999	0.0471	0.140	14.56	0.004	8.08	146.70	43.83	90.00	2.39	0.6	0.081	0.81	3273.63	7.817
	P87	P86	3264.64	3260.904	3.74	8.088	0.0471	0.457	46.24	0.004	8.91	155.61	34.38	90.00	3.89	0.6	0.085	0.89	3272.74	8.092
	P86	P85	3260.90	3258.24	2.664	6.471	0.0471	0.404	41.17	0.004	7.00	162.61	35.24	90.00	3.70	0.6	0.077	0.97	3271.77	10.865
	P85	P83	3258.24	3257.109	1.131	13.500	0.0471	0.080	8.38	0.004	13.55	176.16	49.12	90.00	1.90	0.6	0.104	1.07	3270.70	12.459
	P83	P82	3257.11	3257.159	-0.05	14.805	0.0471	0.007	-0.34	0.004	14.81	190.96	82.14	90.00	0.68	0.6	0.109	1.18	3269.52	12.410
	P82	P81	3257.16	3256.81	0.35	17.059	0.0471	0.018	2.05	0.004	17.06	208.03	67.00	90.00	1.02	0.6	0.119	1.30	3268.22	11.061
	P81	P80	3256.81	3256.353	0.457	18.314	0.0471	0.022	2.50	0.004	18.32	226.35	63.85	90.00	1.13	0.6	0.077	1.38	3266.84	10.034
	P80	P79	3256.35	3255.073	1.28	30.313	0.0471	0.041	4.22	0.004	30.34	256.69	56.48	90.00	1.44	0.6	0.128	1.50	3265.34	8.988
	P79	P78	3255.07	3251.944	3.129	55.854	0.0471	0.055	5.60	0.004	55.94	312.63	53.05	90.00	1.63	0.6	0.235	1.74	3263.60	8.529
P78	P77	3251.94	3251.216	0.728	21.277	0.0471	0.032	3.42	0.004	110.80	423.43	59.33	90.00	1.31	0.6	0.466	2.20	3261.40	9.454	
P77	P76 (Y)	3251.22	3247.416	3.80	24.525	0.0471	0.153	15.49	0.004	24.82	448.24	43.03	90.00	2.48	0.6	0.104	2.31	3259.09	7.873	
TRAMO 2	P76 (Y)	P75	3247.42	3246.149	1.267	6.716	0.0298	0.184	18.87	0.004	6.83	455.08	41.42	60.00	2.68	1.28	0.207	0.21	3247.21	0.000
	P75	P74	3246.15	3239.385	6.764	18.777	0.0298	0.359	36.02	0.004	19.96	475.04	36.12	75.00	3.52	0.82	0.204	0.20	3247.01	0.856

	P74	P73	3239.39	3233.5	5.885	27.046	0.0298	0.216	21.76	0.004	27.68	502.72	40.07	75.00	2.86	0.82	0.283	0.28	3246.72	7.337
	P73	P72	3233.50	3230.727	2.773	13.634	0.0298	0.201	20.34	0.004	13.91	516.63	40.67	75.00	2.78	0.82	0.142	0.14	3246.58	13.080
	P72	P71	3230.73	3225.493	5.234	12.503	0.0298	0.416	41.86	0.004	13.55	530.18	35.03	75.00	3.74	0.82	0.139	0.14	3246.44	15.714
	P71	P70	3225.49	3223.288	2.205	12.978	0.0298	0.168	16.99	0.004	13.16	543.35	42.23	75.00	2.58	0.82	0.135	0.13	3246.31	20.814
	P70	P69	3223.29	3220.108	3.180	20.36	0.0298	0.155	15.62	0.004	20.61	563.95	42.93	75.00	2.49	0.82	0.211	0.21	3246.10	22.808
	P69	P68	3220.11	3216.566	3.542	18.345	0.0298	0.191	19.31	0.004	18.68	582.64	41.09	75.00	2.72	0.82	0.191	0.19	3245.91	25.797
	P68	P67	3216.57	3210.761	5.805	34.204	0.0298	0.169	16.97	0.004	34.69	617.33	42.17	75.00	2.58	0.82	0.355	0.35	3245.55	28.985
	P67	P66	3210.76	3206.135	4.626	30.802	0.0298	0.149	15.02	0.004	31.15	648.48	43.25	75.00	2.46	0.82	0.318	0.32	3245.23	34.472
	P66	P65	3206.14	3200.761	5.374	27.964	0.0298	0.191	19.22	0.004	28.48	676.95	41.11	75.00	2.72	0.82	0.291	0.29	3244.94	38.807
	P65	P64	3200.76	3200.3	0.461	6.865	0.0298	0.063	6.72	0.004	6.88	683.83	51.66	75.00	1.72	0.82	0.070	0.07	3244.87	44.110
	P64	P63	3200.30	3198.388	1.912	20.346	0.0298	0.093	9.40	0.004	20.44	704.27	47.71	75.00	2.02	0.82	0.209	0.21	3244.66	44.363
	P63	P62	3198.39	3194.269	4.119	16.594	0.0298	0.246	24.82	0.004	17.10	721.37	39.02	75.00	3.02	0.82	0.175	0.17	3244.49	46.100
	P62	P61	3194.27	3190.547	3.722	24.581	0.0298	0.150	15.14	0.004	24.86	746.23	43.19	75.00	2.46	0.82	0.254	0.25	3244.23	49.965
	P61	P60	3190.55	3191.036	-0.489	21.273	0.0298	0.024	-2.30	0.004	21.28	767.51	62.73	75.00	1.17	0.82	0.217	0.22	3244.02	53.469
P60	P59	3191.04	3188.176	2.860	26.968	0.0298	0.105	10.61	0.004	27.12	794.63	46.49	75.00	2.13	0.82	0.277	0.28	3243.74	52.703	
TRAMO 3	P59	P58	3188.18	3185.513	2.663	7.968	0.0384	0.329	33.42	0.004	8.40	803.03	36.76	75.00	3.40	0.82	0.086	0.09	3188.09	0.000
	P58	P57	3185.51	3181.116	4.397	14.584	0.0384	0.299	30.15	0.004	15.23	818.26	37.50	75.00	3.27	0.82	0.156	0.24	3187.85	2.336
	P57	P54	3181.12	3167.867	13.249	20.734	0.0384	0.637	63.90	0.004	24.61	842.87	32.10	75.00	4.46	0.82	0.251	0.49	3187.36	6.240
	P54	P53	3167.87	3164.066	3.801	10.698	0.0384	0.352	35.53	0.004	11.35	854.22	36.27	75.00	3.49	0.82	0.116	0.61	3186.75	18.880
	P53	P52	3164.07	3157.161	6.905	31.272	0.0384	0.220	22.08	0.004	32.03	886.24	39.95	75.00	2.88	0.82	0.327	0.94	3185.81	21.745
	P52	P51	3157.16	3153.112	4.049	9.789	0.0384	0.410	41.36	0.004	10.59	896.84	35.15	75.00	3.72	0.82	0.108	1.04	3184.77	27.605
	P51	P50	3153.11	3149.448	3.664	14.53	0.0384	0.250	25.22	0.004	14.98	911.82	38.92	75.00	3.03	0.82	0.153	1.20	3183.57	30.457
	P50	P49	3149.45	3143.3	6.148	19.298	0.0384	0.317	31.86	0.004	20.25	932.08	37.06	75.00	3.35	0.82	0.207	1.40	3182.16	32.716
	P49	P48	3143.30	3140.141	3.159	11.153	0.0384	0.280	28.32	0.004	11.59	943.67	38.01	75.00	3.18	0.82	0.118	1.52	3180.64	37.341
	P48	P47	3140.14	3137.164	2.977	11.615	0.0384	0.253	25.63	0.004	11.99	955.66	38.81	75.00	3.05	0.82	0.123	1.65	3179.00	38.855
	P47	P46	3137.16	3133.621	3.543	11.893	0.0384	0.295	29.79	0.004	12.41	968.07	37.61	75.00	3.25	0.82	0.127	1.77	3177.22	40.059
	P46	P45	3133.62	3131.318	2.303	11.791	0.0384	0.192	19.53	0.004	12.01	980.08	41.06	75.00	2.73	0.82	0.123	1.90	3175.33	41.707

	P45	P44	3131.32	3128.453	2.865	11.716	0.0384	0.241	24.45	0.004	12.06	992.14	39.19	75.00	2.99	0.82	0.123	2.02	3173.31	41.992
TRAMO 4	P44	P43	3128.45	3124.994	3.459	17.983	0.0374	0.190	19.23	0.004	18.31	1010.46	41.14	75.00	2.71	0.82	0.187	0.19	3128.27	0.000
	P43	P42	3124.99	3120.996	3.998	23.175	0.0374	0.171	17.25	0.004	23.52	1033.97	42.06	75.00	2.60	0.82	0.240	0.43	3127.84	2.844
	P42	P41	3121.00	3116.973	4.023	20.352	0.0374	0.196	19.77	0.004	20.75	1054.72	40.90	75.00	2.75	0.82	0.212	0.64	3127.20	6.203
	P41	P40	3116.97	3113.374	3.599	10.104	0.0374	0.352	35.62	0.004	10.73	1065.44	36.25	75.00	3.50	0.82	0.110	0.75	3126.45	9.477
	P40	P39	3113.37	3108.911	4.463	20.085	0.0374	0.220	22.22	0.004	20.57	1086.02	39.92	75.00	2.88	0.82	0.210	0.96	3125.49	12.117
	P39	P38	3108.91	3104.311	4.600	9.94	0.0374	0.459	46.28	0.004	10.95	1096.97	34.34	75.00	3.90	0.82	0.112	1.07	3124.42	15.509
	P38	P37	3104.31	3100.23	4.081	16.381	0.0374	0.247	24.91	0.004	16.88	1113.85	39.00	75.00	3.02	0.82	0.173	1.24	3123.18	18.865
	P37	P36	3100.23	3095.168	5.062	13.014	0.0374	0.386	38.90	0.004	13.96	1127.82	35.58	75.00	3.63	0.82	0.143	1.39	3121.79	21.559
	P36	P35	3095.17	3092.857	2.311	7.793	0.0374	0.292	29.65	0.004	8.13	1135.95	37.69	75.00	3.24	0.82	0.083	1.47	3120.32	25.152
	P35	P34	3092.86	3088.985	3.872	22.753	0.0374	0.169	17.02	0.004	23.08	1159.03	42.18	75.00	2.58	0.82	0.236	1.71	3118.61	25.758
	P34	P33	3088.99	3084.482	4.503	19.767	0.0374	0.226	22.78	0.004	20.27	1179.30	39.72	75.00	2.91	0.82	0.207	1.91	3116.70	27.717
	P33	P32	3084.48	3083.489	0.993	2.983	0.0374	0.320	33.29	0.004	3.14	1182.44	36.97	75.00	3.36	0.82	0.032	1.94	3114.76	30.276
	P32	P31	3083.49	3080.036	3.453	24.686	0.0374	0.138	13.99	0.004	24.93	1207.37	43.93	75.00	2.38	0.82	0.255	2.20	3112.56	29.069
	P31	P30	3080.04	3075.105	4.931	13.492	0.0374	0.363	36.55	0.004	14.36	1221.74	36.04	75.00	3.54	0.82	0.147	2.35	3110.21	30.176
P30	P29	3075.11	3071.831	3.274	8.569	0.0374	0.378	38.21	0.004	9.17	1230.91	35.74	75.00	3.60	0.82	0.094	2.44	3107.77	32.667	
TRAMO 5	P29	P28	3071.83	3065.339	6.492	25.202	0.0743	0.255	25.76	0.004	26.02	1256.93	38.75	75.00	3.06	0.82	0.266	0.27	3071.57	0.000
	P28	P27	3065.34	3063.157	2.182	15.466	0.0743	0.136	14.11	0.004	15.62	1272.55	44.06	75.00	2.37	0.82	0.160	0.43	3071.14	5.801
	P27	P26	3063.16	3060.846	2.311	15.351	0.0743	0.146	15.05	0.004	15.52	1288.08	43.46	75.00	2.43	0.82	0.159	0.58	3070.56	7.398
	P26	P25	3060.85	3059.529	1.317	9.263	0.0743	0.134	14.22	0.004	9.36	1297.43	44.20	75.00	2.35	0.82	0.096	0.68	3069.88	9.030
	P25	P24	3059.53	3056.924	2.605	27.261	0.0743	0.093	9.56	0.004	27.39	1324.82	47.68	75.00	2.02	0.82	0.280	0.96	3068.92	9.387
	P24	P23	3056.92	3051.366	5.558	33.535	0.0743	0.164	16.57	0.004	33.99	1358.81	42.44	75.00	2.55	0.82	0.347	1.31	3067.61	10.685
	P23	P22	3051.37	3046.969	4.397	15.334	0.0743	0.282	28.67	0.004	15.95	1374.76	37.95	75.00	3.19	0.82	0.163	1.47	3066.14	14.773
	P22	P21	3046.97	3042.829	4.140	15.327	0.0743	0.265	27.01	0.004	15.88	1390.64	38.43	75.00	3.11	0.82	0.162	1.63	3064.51	17.538
	P21	P20	3042.83	3041.055	1.774	15.332	0.0743	0.111	11.57	0.004	15.43	1406.07	45.97	75.00	2.17	0.82	0.158	1.79	3062.72	19.888
	P20	P15	3041.06	3024.331	16.724	92.655	0.0743	0.180	18.05	0.004	94.15	1500.22	41.63	75.00	2.65	0.82	0.962	2.75	3059.96	18.910

	P15	BM2	3024.33	3021.137	3.194	99.793	0.0743	0.031	3.20	0.004	99.84	1600.07	59.61	75.00	1.29	0.82	1.020	3.77	3056.19	31.862
	BM2	P12	3021.14	3014.222	6.915	42.719	0.0743	0.160	16.19	0.004	43.28	1643.34	42.63	75.00	2.53	0.82	0.442	4.21	3051.98	30.841
TRAMO 6	P12	P11	3014.22	3009.685	4.537	36.471	0.0993	0.122	12.44	0.004	36.75	1680.10	45.10	75.00	2.26	0.82	0.376	0.38	3013.85	0.000
	P11	P10	3009.69	3004.471	5.214	36.471	0.0993	0.140	14.30	0.004	36.84	1716.94	43.80	75.00	2.40	0.82	0.376	0.75	3013.09	3.409
	P10	P9	3004.47	2999.397	5.074	36.471	0.0993	0.136	13.91	0.004	36.82	1753.76	44.05	75.00	2.37	0.82	0.376	1.13	3011.97	7.495
	P9	P8	2999.40	2994.764	4.633	36.471	0.0993	0.124	12.70	0.004	36.76	1790.52	44.90	75.00	2.28	0.82	0.376	1.50	3010.46	11.065
	P8	P7	2994.76	2989.773	4.991	36.471	0.0993	0.134	13.68	0.004	36.81	1827.34	44.21	75.00	2.35	0.82	0.376	1.88	3008.58	13.818
	P7	P6	2989.77	2984.786	4.987	36.471	0.0993	0.134	13.67	0.004	36.81	1864.15	44.21	75.00	2.35	0.82	0.376	2.26	3006.33	16.553
	P6	P5	2984.79	2979.449	5.337	36.471	0.0993	0.144	14.63	0.004	36.86	1901.00	43.59	75.00	2.42	0.82	0.377	2.63	3003.69	18.907
	P5	P4	2979.45	2975.595	3.854	36.471	0.0993	0.103	10.57	0.004	36.67	1937.68	46.67	75.00	2.11	0.82	0.375	3.01	3000.69	21.236
	P4	P3	2975.60	2969.857	5.738	36.471	0.0993	0.155	15.73	0.004	36.92	1974.60	42.93	75.00	2.49	0.82	0.377	3.38	2997.30	21.705
	P3	P2	2969.86	2966.068	3.789	99	0.0993	0.037	3.83	0.004	99.07	2073.67	57.50	75.00	1.39	0.82	1.012	4.40	2992.90	23.046
	P2	P1	2966.07	2963.177	2.891	29	0.0993	0.096	9.97	0.004	29.14	2102.81	47.32	75.00	2.05	0.82	0.298	4.70	2988.21	22.140
	P1	P1" (des)	2963.18	2962.54	0.637	35	0.0993	0.015	1.82	0.004	35.01	2137.82	68.98	75.00	0.97	0.82	0.358	5.05	2983.16	19.978

Fuente: Los Autores.

Las pérdidas locales se calcularon para cada tramo y se indican en las tablas a continuación:

Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 1				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	58	0.5920
Válvulas de Compuerta tipo mariposa	5		0.00361	0.075	0.170	1	0.1701
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	1	0.0085
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	10	0.0601
<b>Pérdidas totales</b>							0.895

Fuente: Los Autores.

Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 2				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	39	0.3980
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	0	0.0000
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	18	0.1083
<b>Pérdidas totales</b>							0.571

Fuente: Los Autores.

Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 3				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	15	0.1531
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	1	0.0085
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	17	0.1022
<b>Pérdidas totales</b>							0.328

Fuente: Los Autores.



Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 4				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	22	0.2245
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	0	0.0000
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	17	0.1022
<b>Pérdidas totales</b>							<b>0.391</b>

Fuente: Los Autores.

Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 5				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	57	0.5818
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	1	0.0085
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	11	0.0662
<b>Pérdidas totales</b>							<b>0.721</b>

Fuente: Los Autores.

Cálculo de las pérdidas locales			Tramo 6				
Accesorio	k	$\theta$	Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m)	hl (m)	Cantidad	Total (m)
Unión	0.3		0.00361	0.075	0.010	84	0.8573
Válvulas de Compuerta tipo mariposa	5		0.00361	0.075	0.170	1	0.1701
Pérdida de entrada	0.9		0.00361	0.075	0.031	1	0.0306
Pérdida de salida	1		0.00361	0.075	0.034	1	0.0340
Pérdidas por codos 90°		90	0.00361	0.075	0.009	0	0.0000
Pérdidas por codos 45°		45	0.00361	0.075	0.006	0	0.0000
<b>Pérdidas totales</b>							<b>1.092</b>

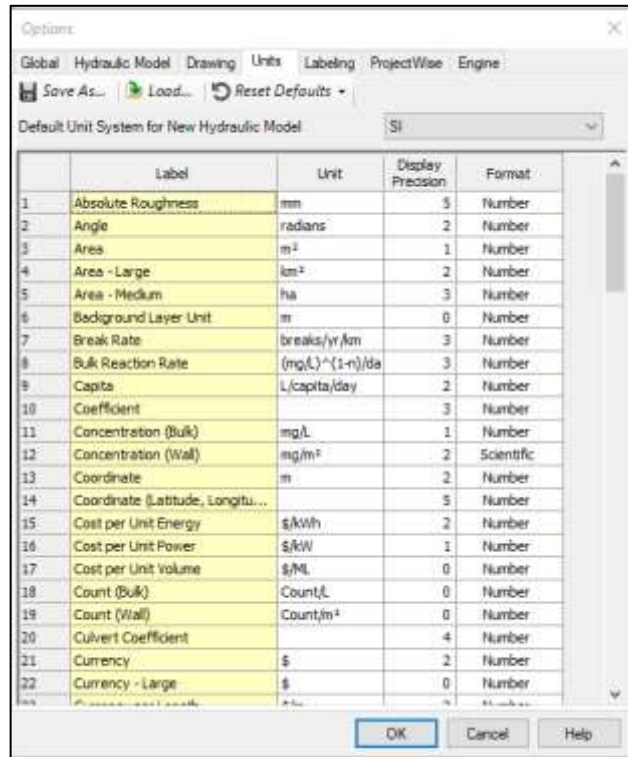
Fuente: Los Autores.

## Anexo K

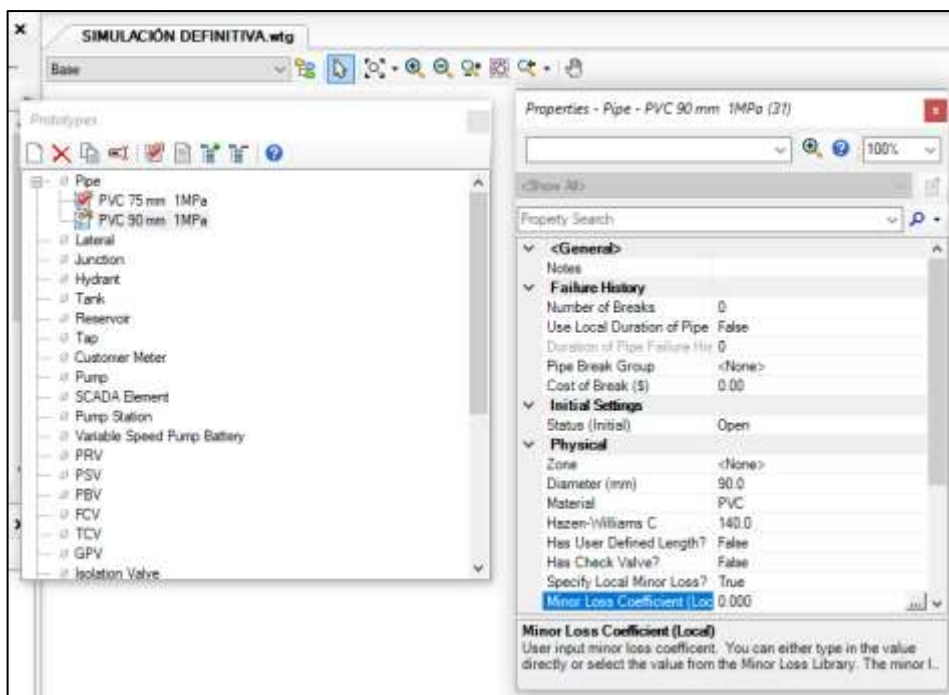
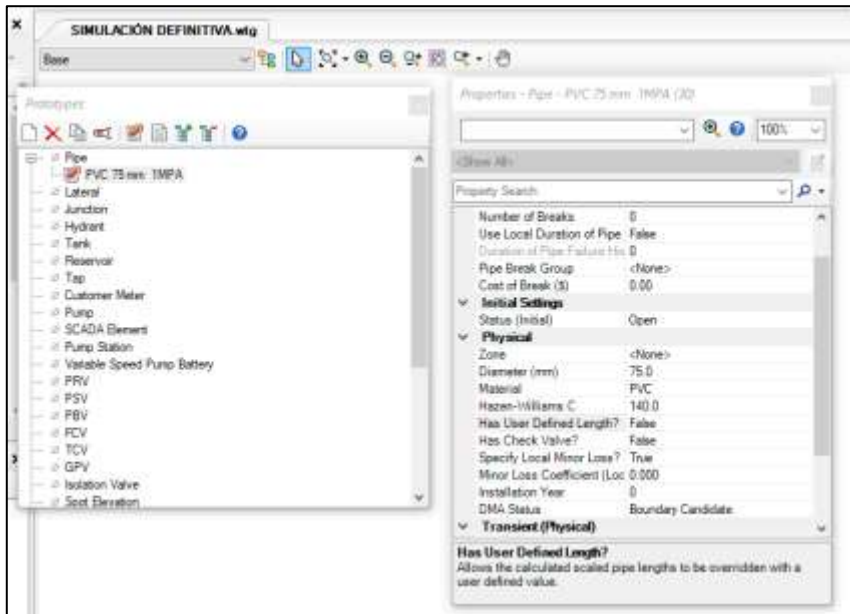
### Modelamiento de la línea de aducción en WaterCAD

El procedimiento para la modelación en el software WaterCAD se detalla paso a paso a continuación.

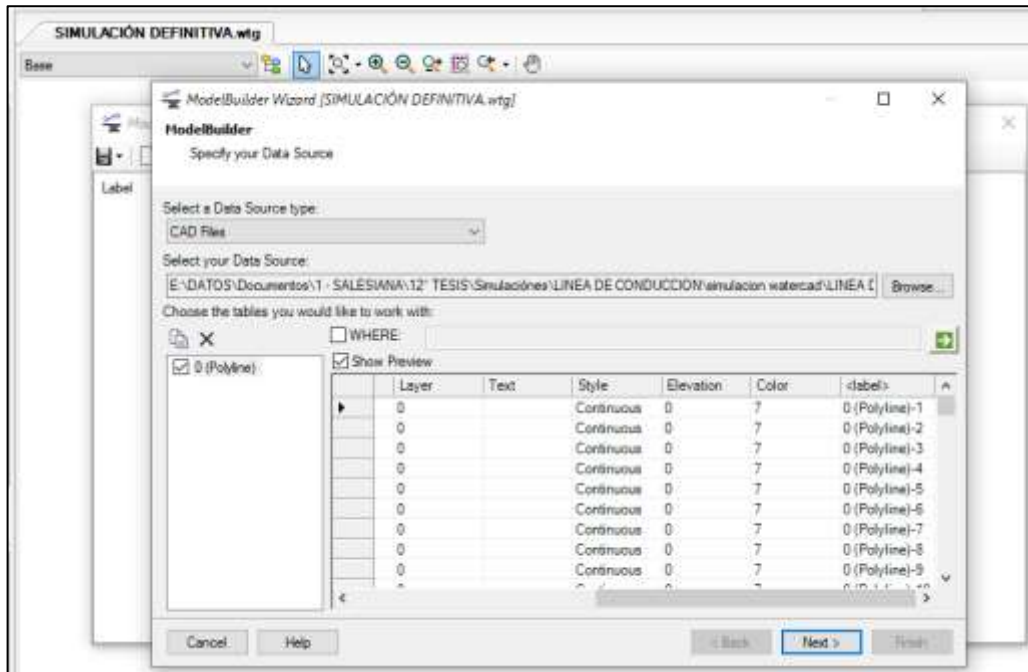
1. Se inicia verificando las unidades en el sistema internacional, realizando únicamente un cambio en la presión para que esta nos entre los valores en “mH2O”.



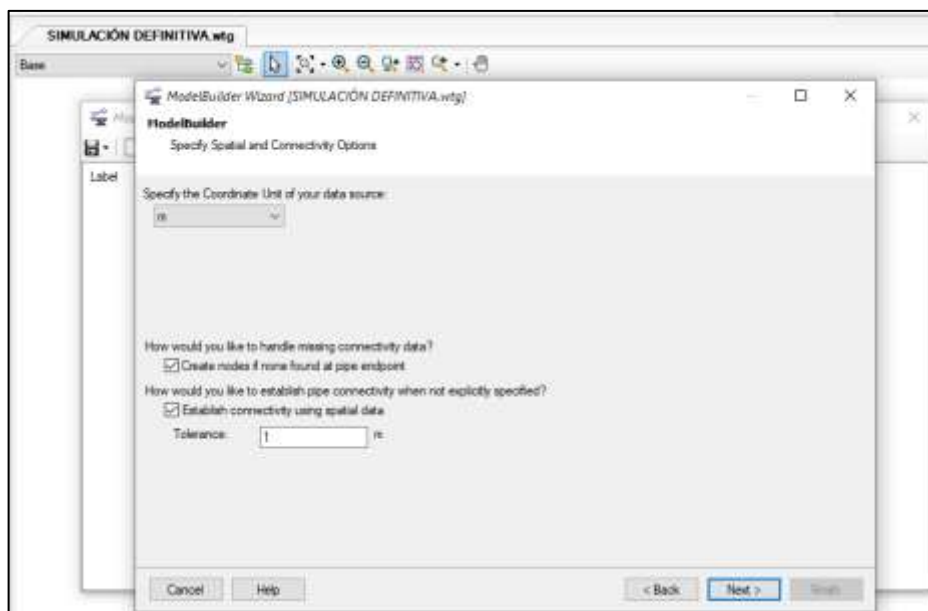
1. Con el comando “Prototypes”, se ingresan las tuberías a utilizar, en este caso de Ø 90 mm y Ø 75 mm, con el material de PVC y el coeficiente de Chow para Hazen-Williams de 140.



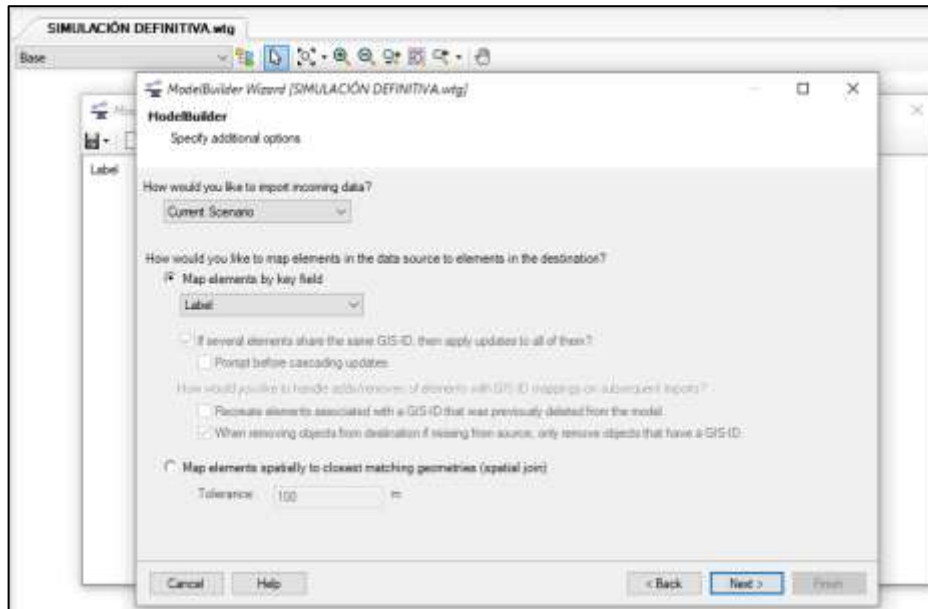
3. Utilizando el comando “ModelBuilder” se ingresa la topología de la línea de aducción con el tipo de “Data” CAD files, el archivo a utilizar es el trazado de la línea de aducción obtenido en CivilCAD en formato DXF.



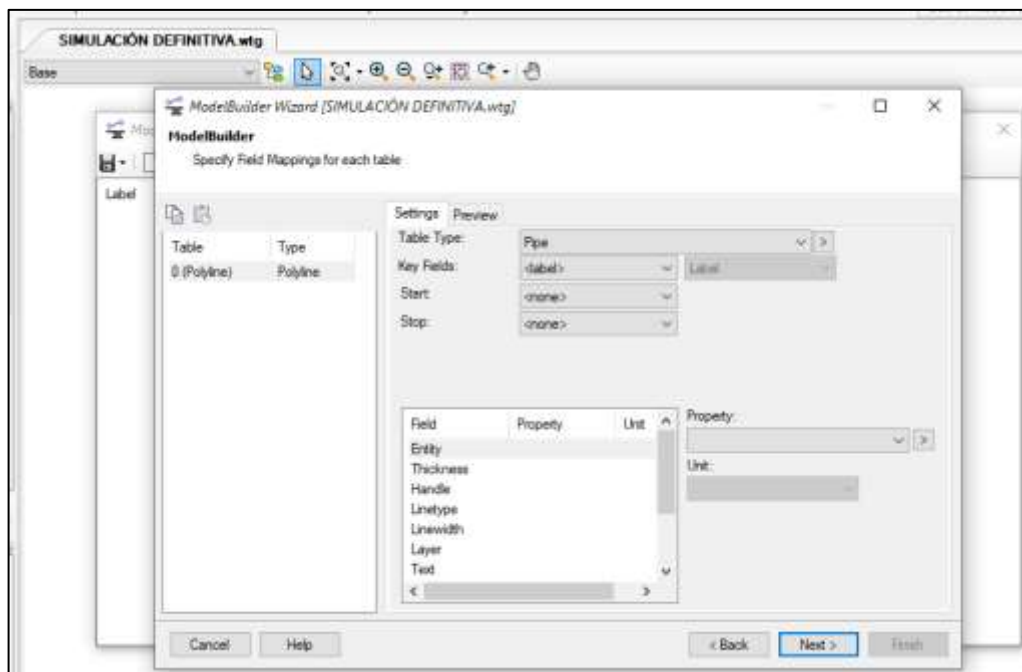
4. Ya seleccionado el archivo se continúa colocando las unidades del archivo DXF en metros y con una tolerancia de 1 metro en caso de existir errores en dicho archivo.



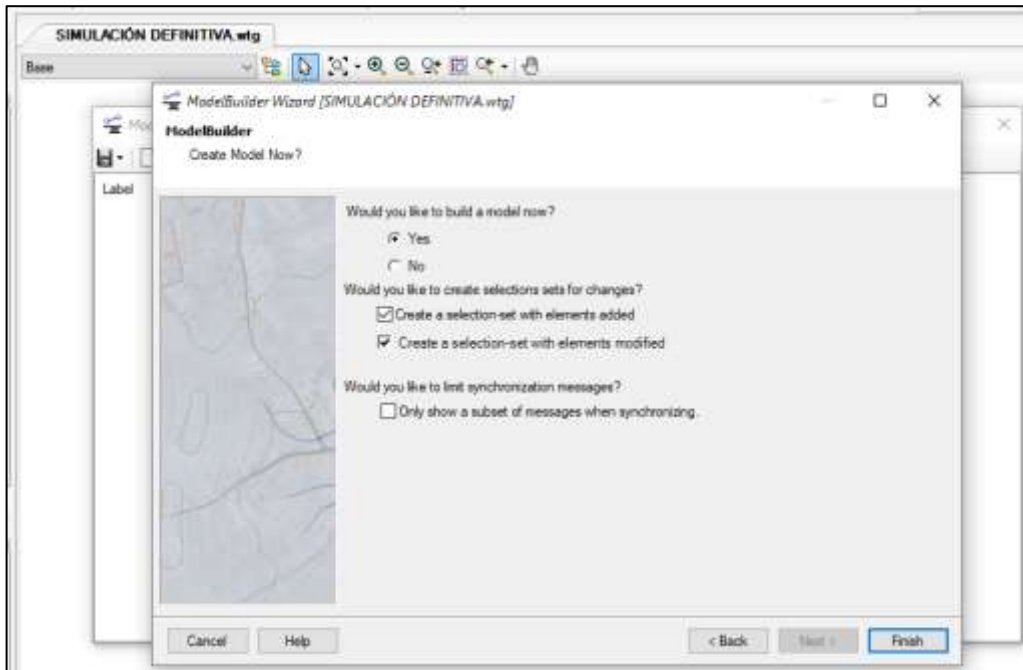
5. El parámetro que vamos a utilizar del archivo DXF son las etiquetas de cada línea, por lo que se selección "Label" y se continua.



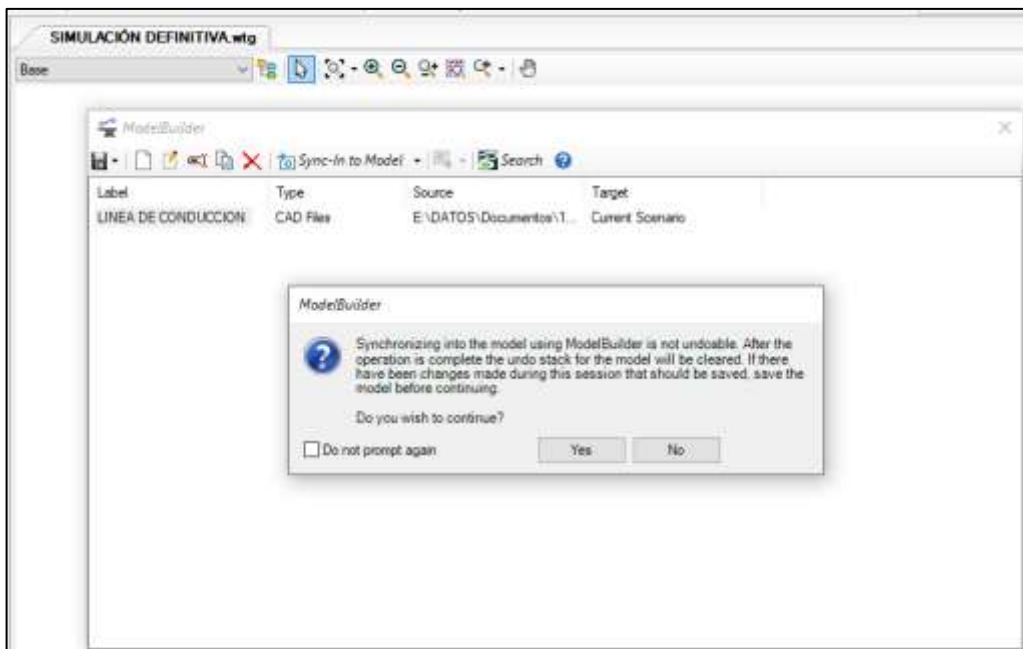
6. en el comando “Key fields” se selecciona “Label” nuevamente y se continua con el proceso.

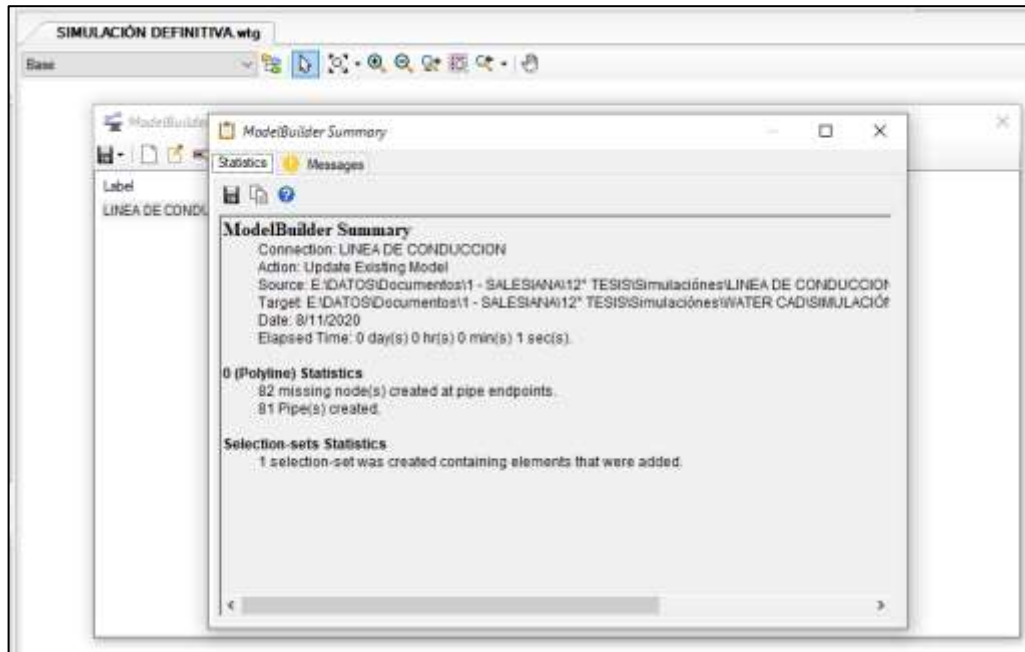


7. Se da clic en el comando “Finish” y se continua con el proceso.

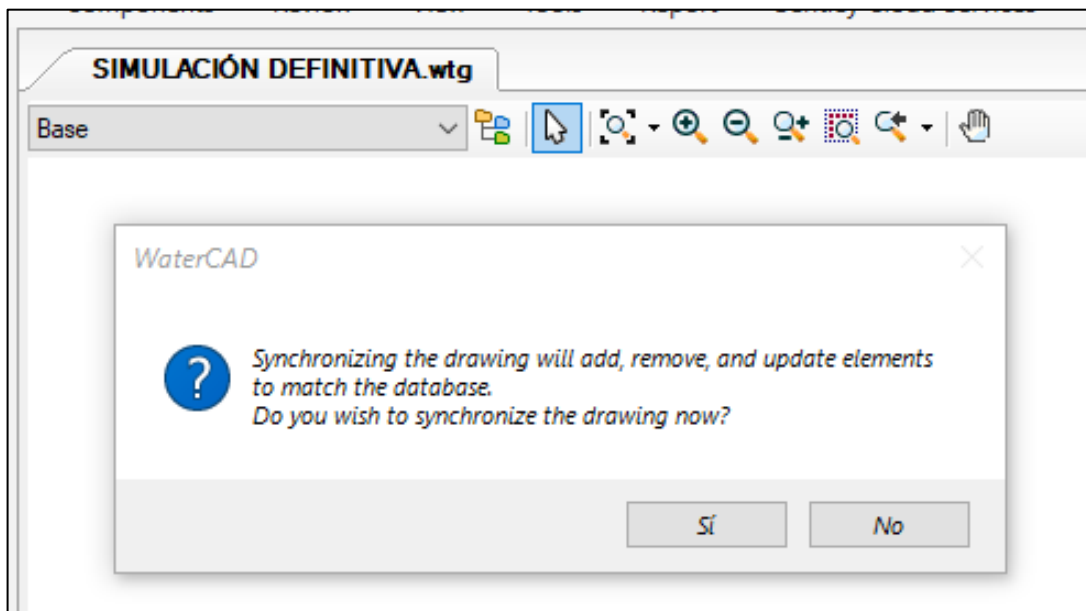


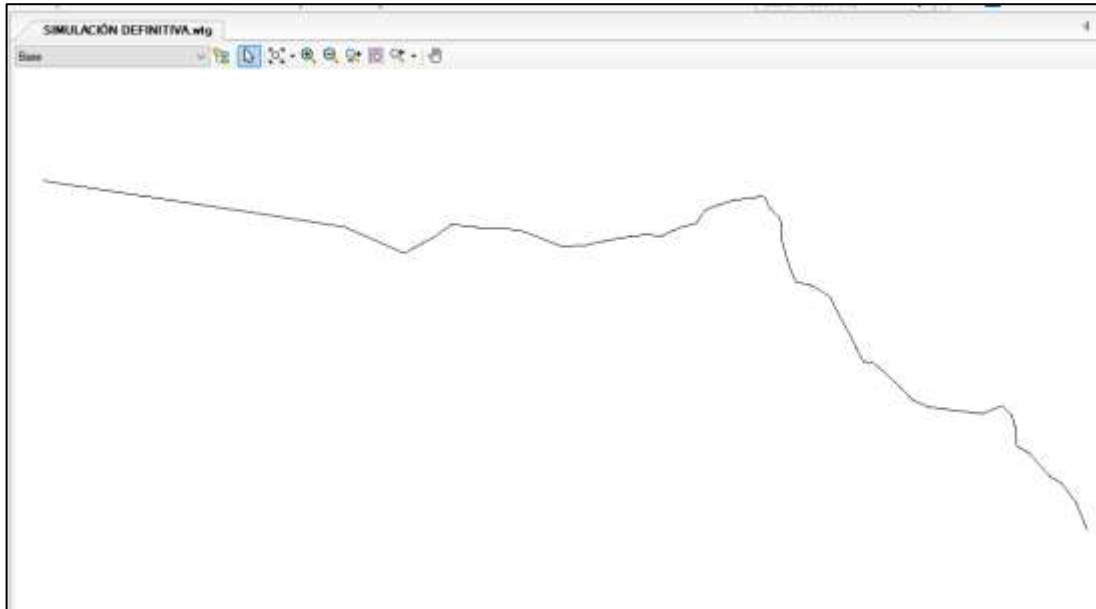
8. Se abre una ventana que en la que nos pregunta si deseamos continuar con la sincronización, se le da en el botón “yes” y se termina el proceso, de ingreso de la topología.



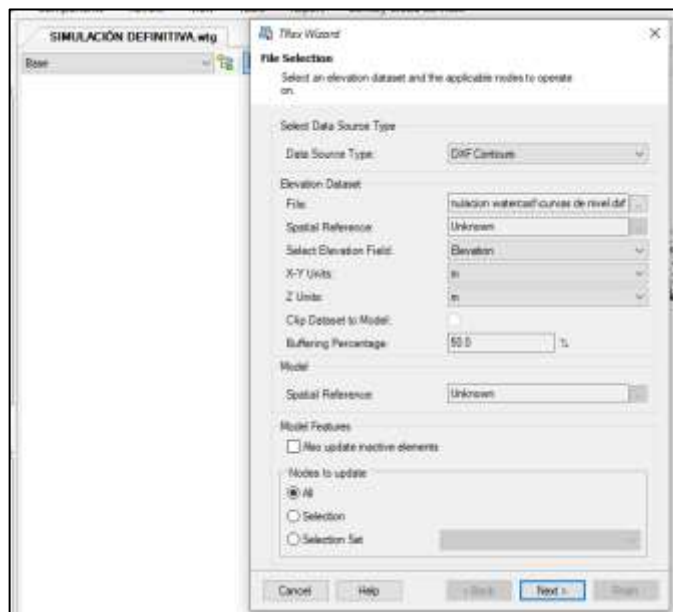


9. Una vez que se ha sincronizado y se ha eliminado errores y capas no deseadas del archivo DXF, nos vuelve a preguntar si deseamos terminar la sincronización, le damos en “sí” y finalmente aparece la topología de la línea de aducción.



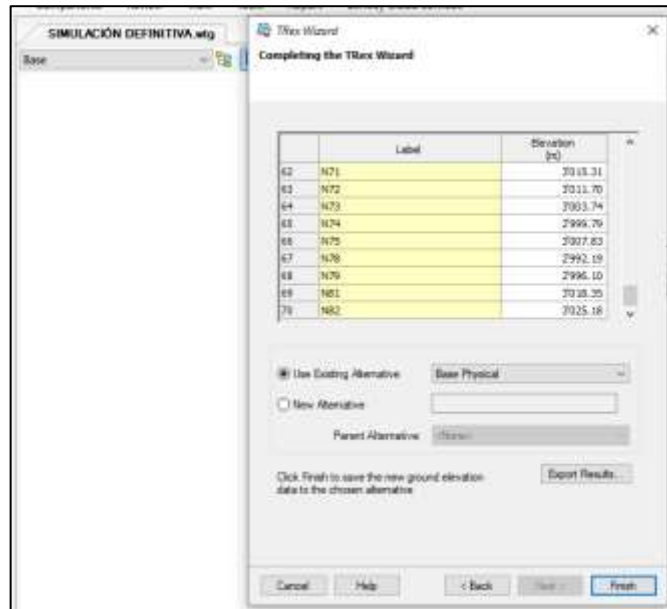


10. Para colocar las cotas de cada punto de la línea de aducción, se hace uso del comando “TRex” para ingresar un archivo DXF también obtenido del modelamiento en CivilCAD, para ello se debe seleccionar en la opción “DXF Contours”, seleccionar “Elevation” y las unidades en metros.

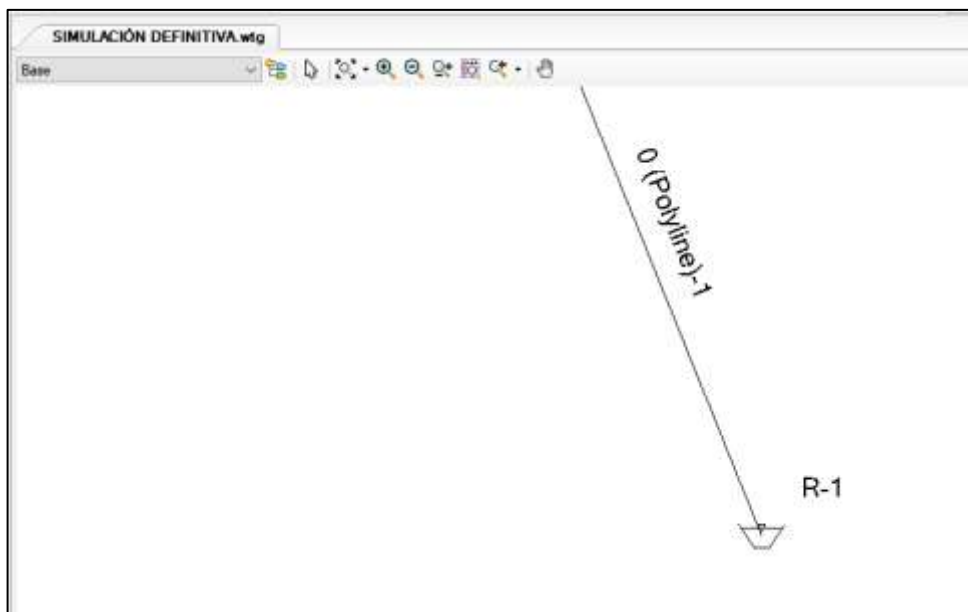


11. Ya ingresado el archivo le damos en continuar hasta que se visualicé los nodos junto a la elevación que tendrán con el archivo que se acaba de agregar y le damos en “FINISH”.

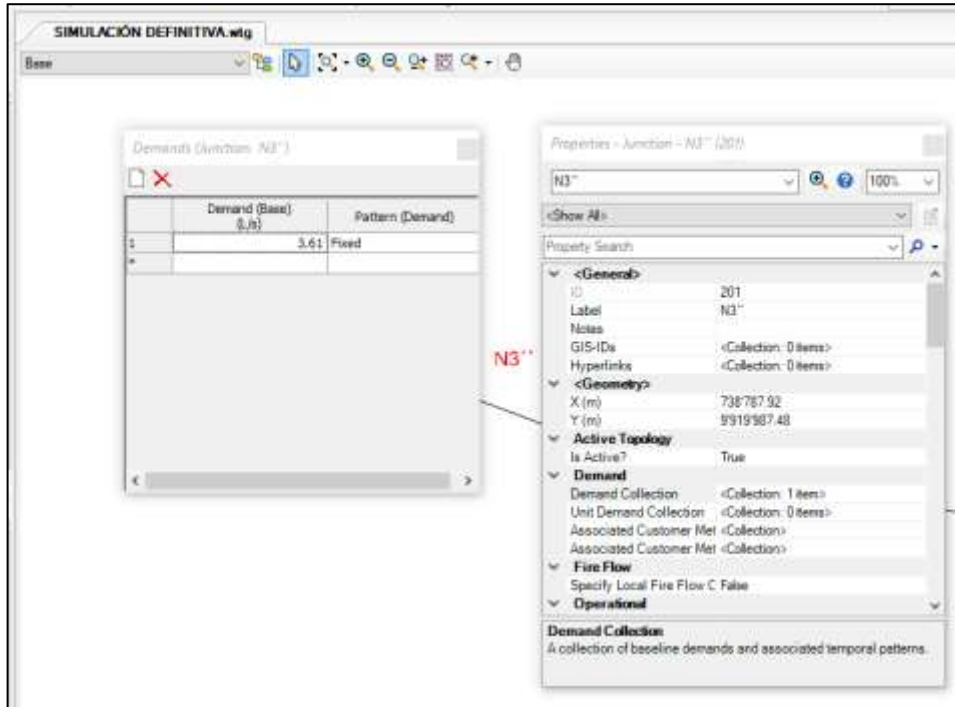




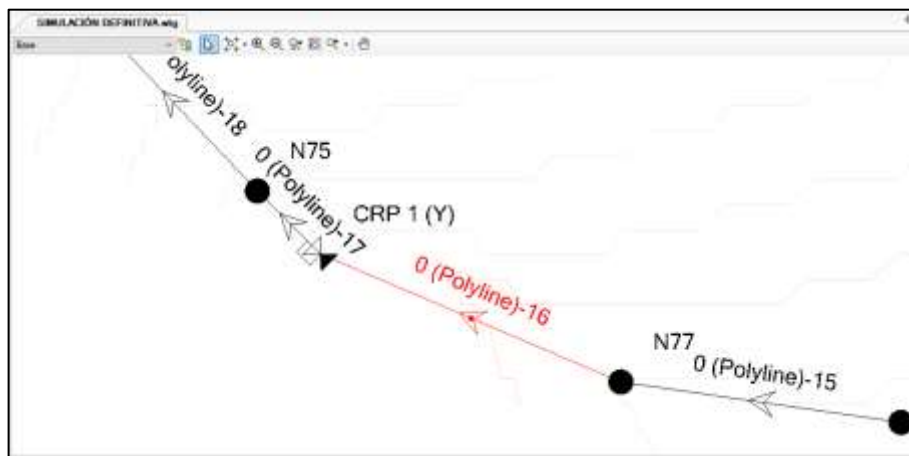
12. Con el comando “Layout” seleccionamos un reservorio y lo colocamos en el punto donde va a estar ubicada la captación.



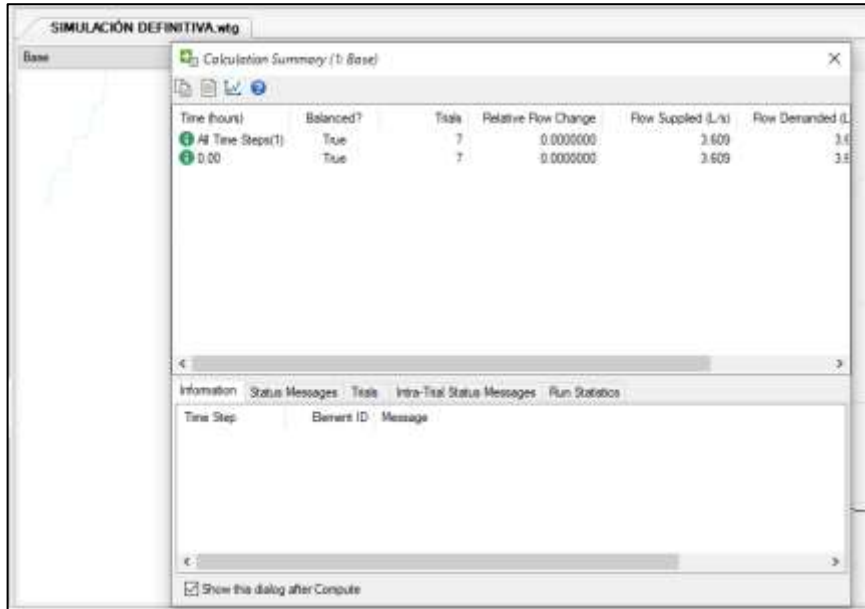
13. En el punto donde va a estar ubicado el desarenado, se ingresa el valor del caudal que circulará por la línea de aducción.



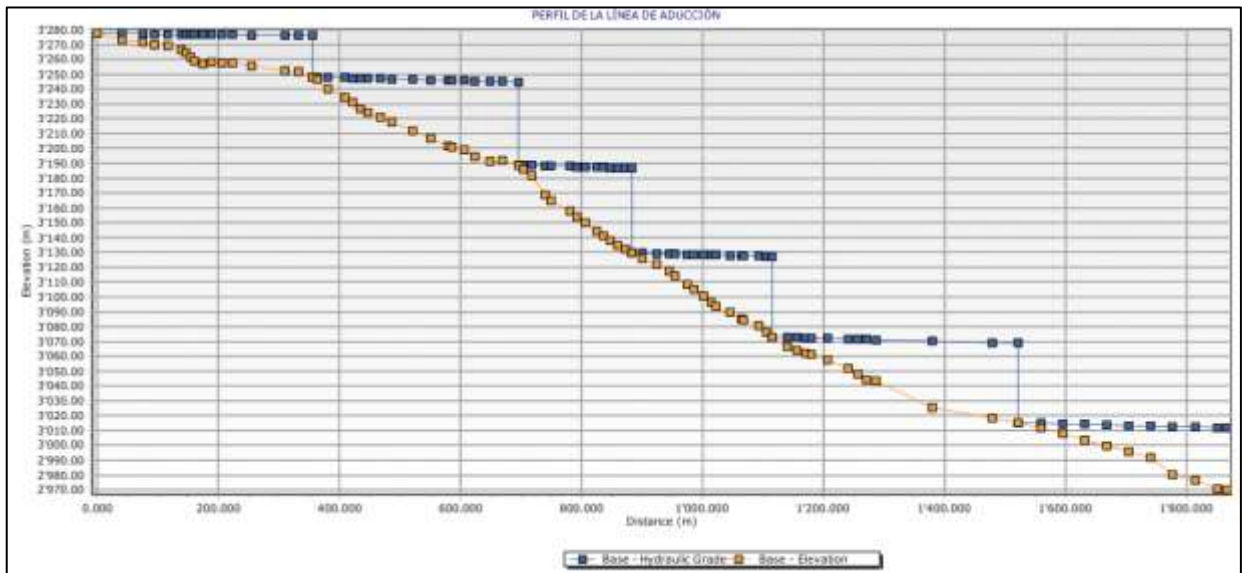
12. Con el comando “Layout” seleccionamos una válvula tipo PRV y la colocamos en cada uno de los puntos donde estarán ubicadas las cámaras rompe presión.



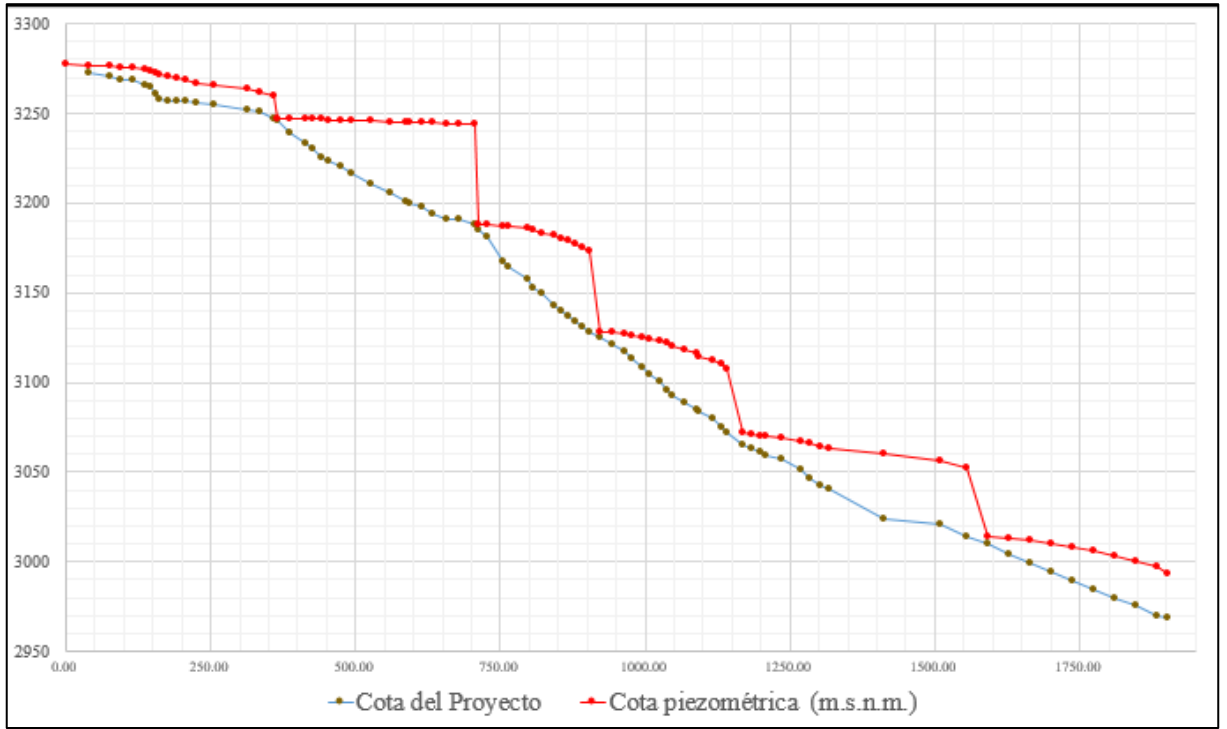
13. Ya colocados todos los elementos de la línea de aducción, se le da en el botón “Valide” y si este nos indica que no existen problemas, se da clic en el comando” COMPUTE” y el software iniciará con el modelamiento.



14. ya que ha terminado el proceso se verifican los valores entregados por el software y a manera de comprobación se obtiene el perfil del trazado de la línea de aducción y el perfil de la gradiente piezométrica.



Este grafico es muy similar al grafico obtenido mediante el análisis en hoja de cálculo indicado a continuación.



## Anexo L

*Diseño estructural de la Cámara rompe presión.*

Los parámetros necesarios para el diseño de la captación se muestran en la siguiente tabla:

Datos para el diseño			
Parámetro	Valor	unidad	Símbolo
Base de la cámara	0.80	m	B
Largo de ambas cámaras	0.80	m	L
Altura de la lámina de agua	0.80	m	Hw
Espesor del muro	0.20	m	em
Espesor de la losa de fondo	0.30	m	elf
Espesor de la losa superior	0.20	m	els
Altura total de la CRP	1.10	m	H
Peso específico del suelo	1662.00	kg/m <sup>3</sup>	γs
Capacidad portante del suelo	2.85	kg/cm <sup>2</sup>	qadm
Resistencia del hormigón	240	kg/cm <sup>2</sup>	f'c
Resistencia del acero	4200	kg/cm <sup>2</sup>	fy
Angulo de fricción del suelo	17.5	°	Ø
Peso específico del hormigón armado	2400	kg/m <sup>3</sup>	γs
Peso específico del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>	γw

*Fuente: Los Autores.*

### Cargas Actuantes.

Peso propio de la losa superior.

$$Ppls = \gamma_H * e_l * b$$
$$Ppls = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,80 m * 0,20 m$$
$$Ppls = 384 kg/m$$

Peso propio del muro.

$$Ppm = \gamma_H * e_m * b$$
$$Ppm = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,20 m * 1,10 m$$
$$Ppm = 528 kg/m$$

Peso propio de la losa de fondo.

$$Pplf = \gamma_H * e_l * b$$
$$Pplf = 2400 \frac{kg}{m^3} * 0,30 m * 0,80 m$$
$$Pplf = 576 kg/m$$

Presión lateral del suelo.

$$k_a = 0,54$$
$$Pp = \gamma_s * k_a * Hds$$

$$Pa = 1662 \frac{kg}{m^3} * 0,54 * 1,10 m$$

$$Pa = 982,889 kg/m$$

Presión hidrostática.

$$Pw = \gamma_w * H$$

$$Pw = 1000 \frac{kg}{m^3} * 1,35 m$$

$$Pw = 1100 kg/m^2$$

Reacción en la base por carga muerta.

$$Prs = \frac{\text{Peso de los muros}}{\text{Longitud de la base}} + Ppls - Pplf$$

$$Prs = \frac{(2400 * 1,10 * 0,20 * 0,80)}{2} + 384 - 576$$

$$Prs = 864 kg/m$$

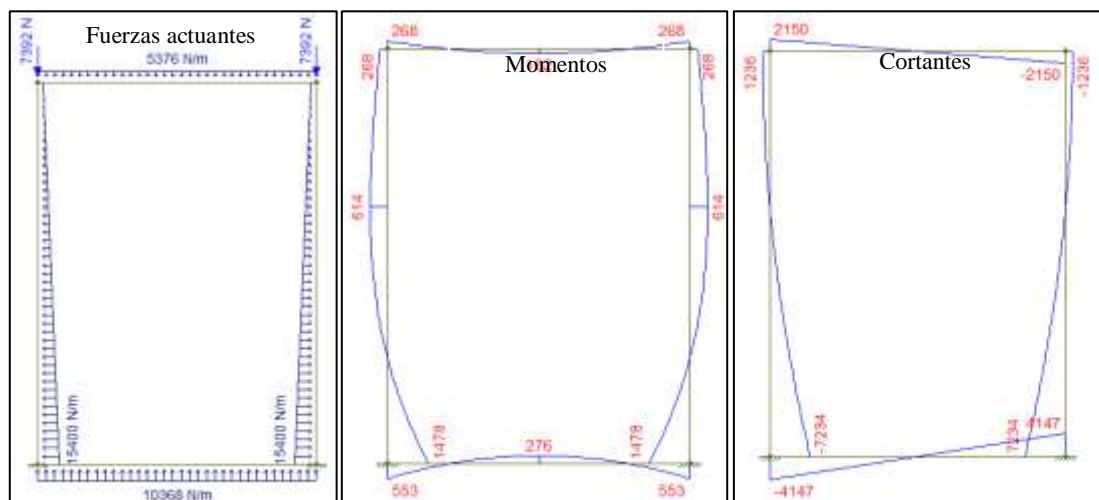
### Estados de cargas.

Primer estado de cargas, únicamente el peso propio y la presión del agua.

1.4 (D) + 1.4 (F)				
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Peso propio de la losa superior	537.6	kg/m	5376	N/m
Peso propio del muro	739.2	kg/m	7392	N/m
Presión hidrostática	1540	kg/m	15400	N/m
Reacción en la base por carga muerta	1209.60	kg/m	12096	N/m

Fuente: Los Autores.

Los valores de momentos y fuerzas cortantes obtenidas con el software Ftools se muestran a continuación:



Fuente: Los Autores.

Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Momento positivo en muros	614	kg.m	614	N.m
Momento negativo en muros	1478	kg.m	1478	N.m
Momento positivo en losa superior	268	kg.m	268	N.m

Momento negativo en losa superior	16.2	kg.m	162	N.m
Cortante en el muro	723.4	kg	7234	N
Cortante en losa superior	213.4	kg	2134	N
Momento positivo en losa inferior	27.6	kg.m	276	N.m
Momento negativo en losa inferior	53.4	kg.m	534	N.m
Cortante en losa inferior	414.7	kg	4147	N

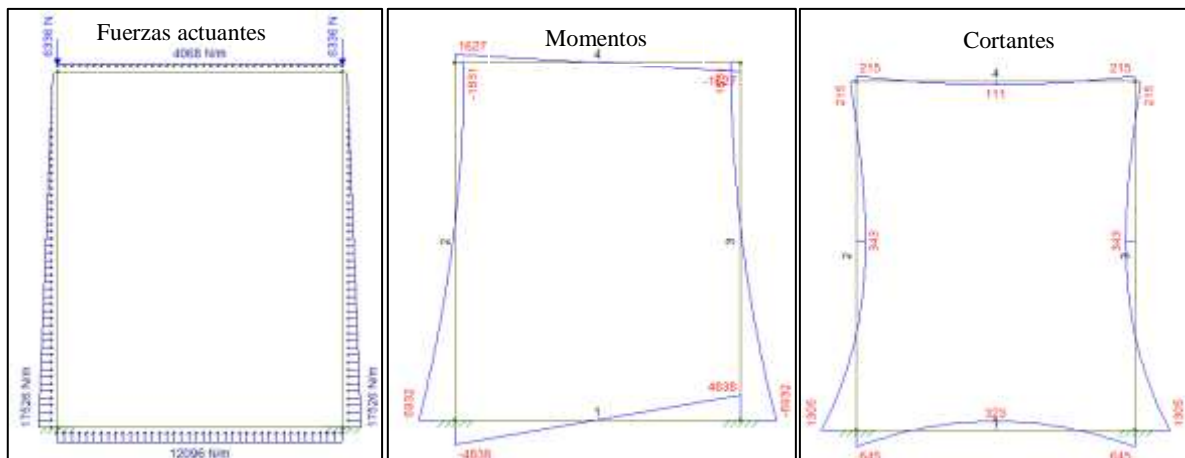
Fuente: Los Autores.

Segundo estado de cargas, el peso propio y la presión del suelo.

1.2 (D) + 1.6 (H)				
Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Peso propio de la losa superior	460.8	kg/m	4608	N/m
Peso propio del muro	633.6	kg/m	6336	N/m
Presión hidrostática	1036.80	kg/m	10368	N/m
Reacción en la base por carga muerta	1572.62	kg/m	15726	N/m

Fuente: Los Autores.

Los valores de momentos y fuerzas cortantes obtenidas con el software Ftools se muestran a continuación.



Fuente: Los Autores.

Parámetro	Valor	unidad	Valor	unidad
Momento positivo en muros	130.5	kg.m	1305	N.m
Momento negativo en muros	34.3	kg.m	343	N.m
Momento positivo en losa superior	21.5	kg.m	215	N.m
Momento negativo en losa superior	11.1	kg.m	111	N.m
Cortante en el muro	693.2	kg	6932	N
Cortante en losa superior	162.7	kg	1627	N
Momento positivo en losa inferior	32.3	kg.m	323	N.m
Momento negativo en losa inferior	64.5	kg.m	645	N.m
Cortante en losa inferior	483.8	kg	4838	N

Fuente: Los Autores.

En el diseño de los muros, losa superior y losa de fondo, se utilizó una resistencia a compresión del hormigón de  $240 \text{ kg/cm}^2$  y una resistencia del acero de  $4200 \text{ kg/cm}^2$ . Se manejó el coeficiente de durabilidad ambiental dado en la (ACI 350.3-01, 2007), para evitar el agrietamiento en condiciones de servicio.

Los valores de momento y cortantes utilizados para el diseño y multiplicados por el coeficiente de durabilidad ambiental  $S_d = 1,3$  son los siguientes:

Parámetro	Valor	unidad	Símbolo
Momento en muros	192.14	kg.m	Mnm
Momento en losa superior	34.84	kg.m	Mpls
Cortante en el muro	940.42	kg	Vm
Cortante en losa superior	277.42	kg	Vls
Momento en losa inferior	83.85	kg.m	Mnlf
Cortante en losa inferior	628.94	kg	Vlf

Fuente: Los Autores.

### Diseño a flexión.

Para el caso de los muros es:

$$R_U = \frac{192.14 \text{ kg.m}}{0,9 * 1 \text{ m} * 0,15 \text{ m}^2}$$

$$R_U = 9488.39 \text{ kg/m}^2$$

$$R_U = 0,95 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria de acero está dada por la siguiente formula:

$$\rho = 0,85 * \frac{240 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * 0,95 \text{ kg/cm}^2}{240 \text{ kg/cm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0,0002$$

La cantidad de acero requerido es:

$$A_s = 0,0002 * 0,80 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 0,34 \text{ cm}^2$$

El acero mínimo es:

$$A_s = \frac{14}{4200 \text{ kg/cm}^2} * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 5 \text{ cm}^2$$

El refuerzo transversal es:

$$A_{st} = 0,0018 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 3,6 \text{ cm}^2$$

### Verificación a corte.



$$d_{min} = \frac{940,42}{0,53 * 0,85 * \sqrt{240 \frac{kg}{cm^2}} * 80 cm}$$

$$d_{min} = 1,58 cm$$

La longitud de desarrollo es

$$l_d = 25 cm$$

En las tablas mostradas a continuación se indica el diseño a flexión, la verificación a corte, su armado y la longitud de desarrollo necesaria para los muros, la losa superior y la losa de fondo.

<b>Diseño a flexión de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Recubrimiento	0.05	m	r
Altura útil	0.15	m	d
Resistencia última	0.95	kg/cm <sup>2</sup>	Ru
Acero calculado	0.341	cm <sup>2</sup>	As
Acero mínimo	5	cm <sup>2</sup>	Asmin
<b>Verificación a cortante de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza de corte	940.42	kg	Vu
Altura útil mínima	1.68	cm	dmin
Altura útil	15	cm	d
<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Factor de modificación	1		ψe
Factor de modificación	1		ψt
Factor de modificación	0.8		ψs
Diámetro de la varilla	1.2	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2.5		
Longitud de desarrollo calculada	24	cm	Ldc
Longitud de desarrollo asumida	25	cm	Ld

Fuente: Los Autores.

<b>Armado de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	Ø
Área de la varilla	1.13	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	5.65	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 φ 12 @ 25 cm		
Acero por temperatura	2.7	cm <sup>2</sup>	Ast
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	Ø
Área de la varilla	1.13	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	5.65	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	5 φ 12 @ 25 cm		

En las tablas mostradas a continuación se indica el diseño a flexión, la verificación a corte, su armado y la longitud de desarrollo necesaria para la losa de fondo.

<b>Diseño a flexión de la losa de fondo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Recubrimiento	0.05	m	r
Altura útil	0.25	m	d
Resistencia última	0.15	kg/cm <sup>2</sup>	Ru
Acero calculado	0.09	cm <sup>2</sup>	As
Acero mínimo	8.33	cm <sup>2</sup>	Asmin
<b>Verificación a cortante de los muros</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Fuerza de corte	628.94	kg	Vu
Altura útil mínima	0.22	cm	dmin
Altura útil	25	cm	d
<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0.8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1.4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2.5		
Longitud de desarrollo calculada	28	cm	Ldc
Longitud de desarrollo asumida	30	cm	Ld

Fuente: Los Autores.

<b>Armado de la losa de fondo</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	14	mm	Ø
Área de la varilla	1.54	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	7.70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	<b>5 φ 14 @ 25 cm</b>		
Acero por temperatura	4.5	cm <sup>2</sup>	Ast
Número de varillas	5	u	#
Diámetro de la varilla	12	mm	Ø
Área de la varilla	1.13	cm <sup>2</sup>	Av
Acero colocado	5.65	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25.0	cm	S
Se toma	<b>5 φ 12 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

## Anexo M

### *Diseño del cruce aéreo.*

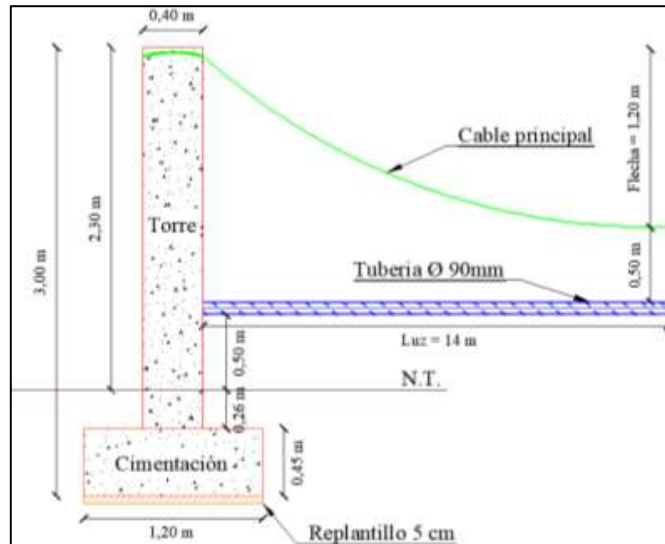
El cruce aéreo requiere una gran cantidad de verificaciones propias del diseño de un puente colgante; debido a ello se han seguido las recomendaciones de diseño dadas en distintas normas nacionales e internacionales a fin de asegurar el buen comportamiento del puente a diferentes acciones presentes como: el viento, el sismo, estabilidad frente al deslizamiento y volcamiento.

El dimensionamiento del puente siguió las recomendaciones dadas en el libro (Diseño de Puentes AASHTO, 2014) y la expuestas en el trabajo sobre las (Características Estructurales de los Pases Aéreos, 2018); la altura de la torre y flecha del cable se dimensionaron con las siguientes formulas:

$$H = \frac{LP}{6} \ll \gg \frac{LP}{8}$$
$$F = \frac{LP}{8} \ll \gg \frac{LP}{12}$$
$$H = \frac{LP}{6} = 2,30 \text{ m} ; H = \frac{LP}{8} = 1,80 \text{ m}$$
$$H_a = 3,00 \text{ m}$$
$$F = \frac{LP}{8} = 1,20 \text{ m} ; F = \frac{LP}{12} = 1,80 \text{ m}$$

<b>Dimensiones de cruce aéreo</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
Altura del cruce elevado	3,00	m
Altura de la columna	2,30	m
Altura debajo de la tubería	0,50	m
Altura mínima de la tubería a la péndula	0,50	m
Altura de profundización para cimentación	0.71	m
Flecha del cable	1,20	m
Luz del puente	14	m

*Fuente: Los Autores.*



Fuente: Los Autores.

### Análisis de cargas.

Las cargas no sísmicas actuantes sobre el cruce aéreo son la carga muerta y la presión del viento obtenida en base a la norma (NEC - SE - CG, 2015); no se considera carga viva puesto que el cruce no está destinado al paso de personas entre los márgenes de la quebrada.

Carga Muerta (CM)		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso de tubería	7.82	kg/m
Peso del agua	6.36	kg/m
Pesos accesorios	5	kg/m
Peso de la péndola (1/4")	0.17	kg/m
Peso del cable principal (1/2")	0.68	kg/m
<b>Total (CM)</b>	<b>20.04</b>	<b>kg/m</b>
Carga de Viento (CW)		
Parámetro	Valor	Unidad
Coefficiente de corrección (C)	0.91	u
Coefficiente de altura (Ce)	0.8	u
Coefficiente de forma (Cf)	1.5	u
Peso específico del aire	1.25	kg/m <sup>3</sup>
Velocidad Corregida	52.78	Km/h
<b>Presión del viento</b>	<b>3.56</b>	<b>kg/m</b>

Fuente: Los Autores.

$$CW = 0.5 * \rho * V_b^2 * C_e * C_f$$

$$V_b = 58 \frac{Km}{h} * 0,91; V_b = 52,78 Km/h$$

$$CW = 0.5 * 1,25 kg/m^3 * 52,78 Km/h * 0,8 * 1,5$$

$$CW = 3,56 kg/m$$

### Combinación de Cargas.

La carga de diseño que soportará el puente está calculada en base a las combinaciones de carga dadas por la norma (NEC - SE - CG, 2015) y la (Guía de Especificaciones para el Diseño

de Puentes Peatonales (Traducción al Español), 2011); obtenido un valor de 28.05 kg/m como carga última para el diseño.

Combinación de Cargas		
Parámetro	Valor	Unidad
0.75*(1.4CD+1.7CL+1.7CW)	25.58	kg/m
1.4 D	28.05	kg/m
1.2 D + 1.0 W + L	27.61	kg/m
	Qu	28.05 kg/m

Fuente: Los Autores.

Para determinar las solicitaciones sísmicas que actúan sobre el puente se utilizó la norma (NEC - SE - DS , 2015); a continuación, se muestra la ecuación establecida para el cálculo del cortante basal.

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_P\phi_E} W$$

$$V = \frac{1 * 0,87}{1 * 1 * 1} * 4035,37; V = 406,09 \text{ kg}$$

A continuación se muestra cada uno de los parámetros necesarios para determinar el cortante basal y la referencia existente dentro de la norma (NEC - SE - DS , 2015).

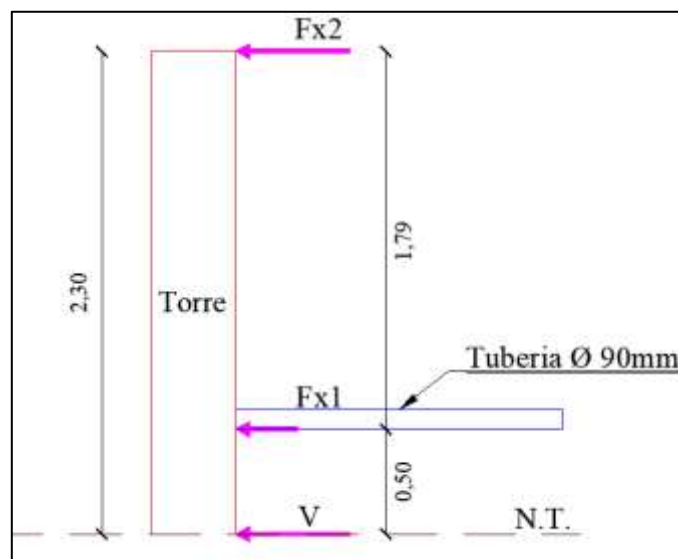
Parámetro	Valor	Unidad	Variable	Referencia
Factor de importancia	1	u	I	Tabla 6, Sec.4.1 pg. 39
Factor de reducción de respuesta	1	u	R	Tabla 15, Sec.6.3.4 pg. 64
Zonificación Sísmica	V			Tabla 1, Sec.3.1.1 pg. 27
Región del Ecuador	Sierra			Sec.3.3.1 pg. 34
Factor de aceleración de la zona	0.35	u	Z	Tabla 1, Sec.3.1.1 pg. 27
Relación de amplificación espectral	2.48	u	n	Sec.3.3.1 pg. 34
Coficiente Ct	0.055	u	Ct	Sec.6.3.3 pg. 62
Altura total del elemento	2.3	m	hn	Planos
Coficiente para Calculo de Periodo	0.9	u	$\alpha$	Sec.6.3.3 pg. 62
Tipo de Suelo	E			Tabla 2, Sec.3.2 pg. 29
factor de sitio Fa	1	u	Fa	Tabla 3, Sec.3.2.2 pg. 31
factor de sitio Fd	1.6	u	Fd	Tabla 4, Sec.3.2.2 pg. 31
factor de comportan. inelástico suelo	1.9	u	Fs	Tabla 5, Sec.3.2.2 pg. 32
Factor asociado al periodo de retorno	1.5	u	r	Sec 3.3.1 pg. 34
Factor de irregularidad en planta	1	u	$\phi_p$	Tabla 13, Sec.5.2.3 pg. 50
Factor de irregularidad en elevación	1	u	$\phi_e$	Tabla 14, Sec.5.2.3 pg. 51
Aceleración de la gravedad	9.81	m/s <sup>2</sup>	g	
Período teórico método 1	0.12	s	T1	Sec.6.3.3 pg. 62
Período teórico método 1 mayorado	0.15	s	T2	Sec.6.3.3 pg. 63
Periodo límite en T=To	0.30	s	To	Sec.3.3.1 pg. 34
Periodo límite en T=Tc	1.67	s	Tc	Sec.3.3.1 pg. 34
Periodo límite en T=TL	3.84	s	TL	Sec.3.3.1 pg. 34
Aceleración en T=0	0.35	g	Sa	Sec.3.3.1 pg. 34
Aceleración en T=To	0.87	g	Sao	Sec.3.3.1 pg. 34
% de reducción de respuesta	1	u	f	
<b>Cortante Basal</b>	406.09	kg	V	

Fuente: Los Autores.

La distribución del cortante basal se hizo en base a dos niveles existente en la torre el primero en el punto donde se ubica la tubería y el segundo en la parte superior de la torre.

Nivel	h (m)	hi (m)	Fx (kg)	V (kg)
2	1.79	2.3	227.93	227.93
1	0.5	1.79	178.16	406.09

Fuente: Los Autores.



Distribución del cortante basal en la torre.

Fuente: Los Autores.

### Diseño del cable principal y las péndolas.

En el diseño de los cables de acero que trabajarán a tracción, se siguió los lineamientos establecidos en la (Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural., 2018) y método de análisis utilizado por (Pinto & Valladares, 2016).

Al determinar la tensión en la péndola se utiliza el factor de seguridad de 3,5 dado en el trabajo de (Checa & Zambrano, 2007). El cable adoptado del catálogo (LEÓNCABLES CIA.LTDA, 2020); es un cable tipo 6x19 de ¼” de diámetro.

$$Tp = FS * Qdis$$

$$Tp = 3,5 * 28,05 \text{ kg/m}$$

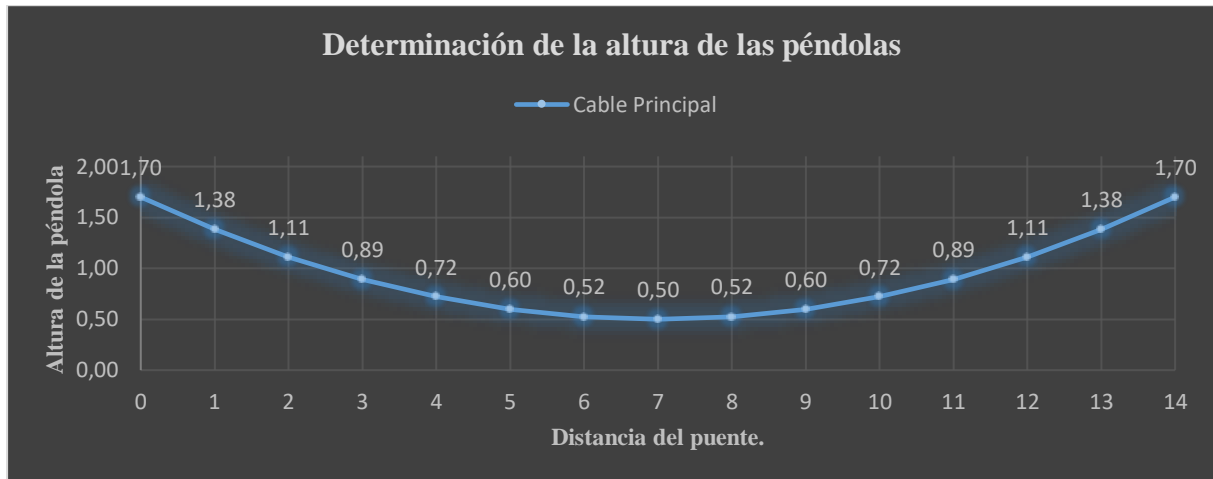
$$Tp = 98,18 \text{ kg/m}$$

La altura de las péndolas respecto a la tubería se determina con la ecuación utilizada para el cruce aéreo en él (Diseño Hidráulico de la Captación, Sistema de Bombeo y Conducción de agua del proyecto Perafán – Santa Martha, 2016), considerando una separación entre péndolas de 1 metro.

$$hp = \left( h_{pmin} + \frac{4}{LP^2} * d^2 * F \right)$$

$$hp = \left( 0,50 + \frac{4}{14^2} * 7^2 * 1,2 \right)$$

$$hp = 1,70 \text{ m}$$



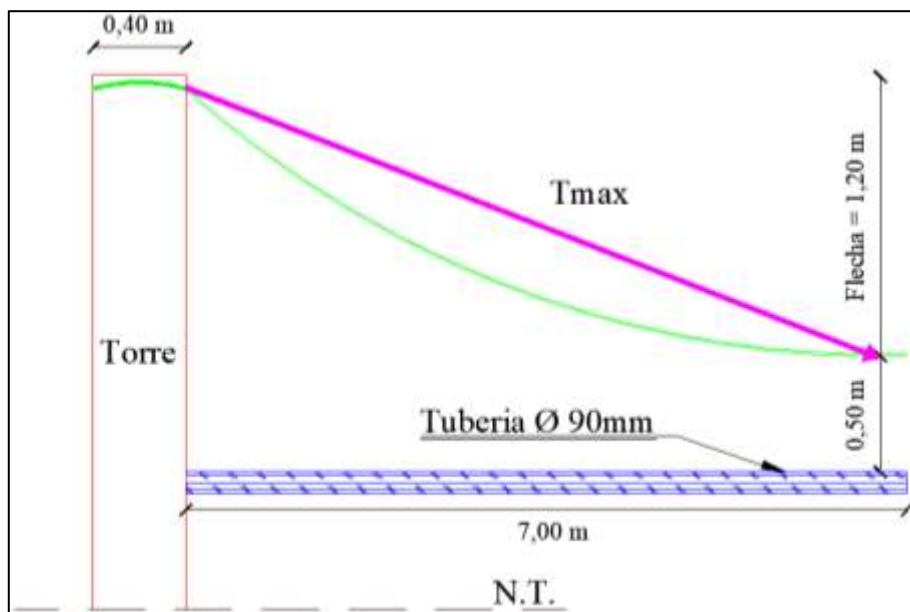
*Fuente: Los Autores.*

La tensión máxima que generada por el cable principal actúa de forma inclinada, formando una curva catenaria por esta razón se utiliza la siguiente ecuación para determinarla.

$$T_{max} = \frac{Q_{dis} * LP^2 * \sqrt{1 + 16 * \left(\frac{F}{LP}\right)^2}}{8 * F}$$

$$T_{max} = \frac{28,05 \text{ kg/m} * 14^2 * \sqrt{1 + 16 * \left(\frac{1,20}{14}\right)^2}}{8 * 1,20}$$

$$T_{max} = 605,44 \text{ kg}$$



*Fuente: Los Autores.*

La tensión de diseño se determina con la siguiente ecuación.

$$T_{dis} = 1,15 * T_{max} * FS$$

$$T_{dis} = 1,15 * 605,44 \text{ kg} * 3,5$$

$$T_{dis} = 2436,90 \text{ kg}$$

La verificación de la resistencia a la rotura de cable se hace con la tensión máxima vertical que soportará el cable respecto de la resistencia máxima del cable a la rotura dada en catálogos de 45900 kg.

$$T_v = T_{dis} * \frac{0,5 * LP}{F}$$

$$T_v = 2436,90 \text{ kg} * \frac{0,5 * 14 \text{ m}}{1,2 \text{ m}}$$

$$T_v = 14215,24 \text{ kg}$$

$$T_v \leq R_{max}$$

$$14215,24 \text{ kg} < 45900 \text{ kg} \gg Ok$$

Se utiliza la ecuación de (Pérez, 2018) para determinar la longitud total de cable, considerando 10 metros para el cable tensor y extras que se presenten durante la construcción.

$$L_c = LP * \left( 1 + \frac{8 * F^2}{3 * LP^2} \right) + extras$$

$$L_c = 14m * \left( 1 + \frac{8 * 1,2 \text{ m}^2}{3 * 14 \text{ m}^2} \right) + 10m$$

$$L_c = 25 \text{ m}$$

Del diseño realizado se desprenden los siguientes resultados mostrados a continuación:

Parámetro	Valor	Unidad
Carga de diseño (Qu)	28,05	kg/m
Número de péndolas	14	u
Tensión en la péndola	98,18	kg
Cable adoptado (diámetro)	6,4 – 1/4	mm – pulg
Tensión a la rotura (1/4") > Tensión en la péndola	Ok	
Tensión máxima a la rotura del cable	2436.90	kg
Tensión máxima vertical	14215.24	kg
Resistencia del cable a la rotura (1/2") > Tensión máxima vertical	ok	
Longitud del cable	25	m

Fuente: Los Autores.

### Diseño del bloque de anclaje.

El bloque de anclaje de hormigón se diseñó siguiendo las sugerencias dadas en los trabajos de (Sheila, 2018) y (Pinto & Valladares, 2016).

El cable tensor desde la torre hasta el bloque de anclaje tendrá un ángulo de salida de 45° debido a la falta de espacio en el sitio de implantación; con la ecuación que se muestra a continuación se puede estimar el peso del bloque de anclaje requerido.

$$W_{ea} = T_{dis} * \left( \frac{\cos \delta}{\mu} \right) + T_{dis} * \sin \delta$$

$$W_{ea} = 2436,90 \text{ kg} * \left( \frac{\cos 45^\circ}{0,315} \right) + 2436,90 \text{ kg} * \sin 45^\circ$$

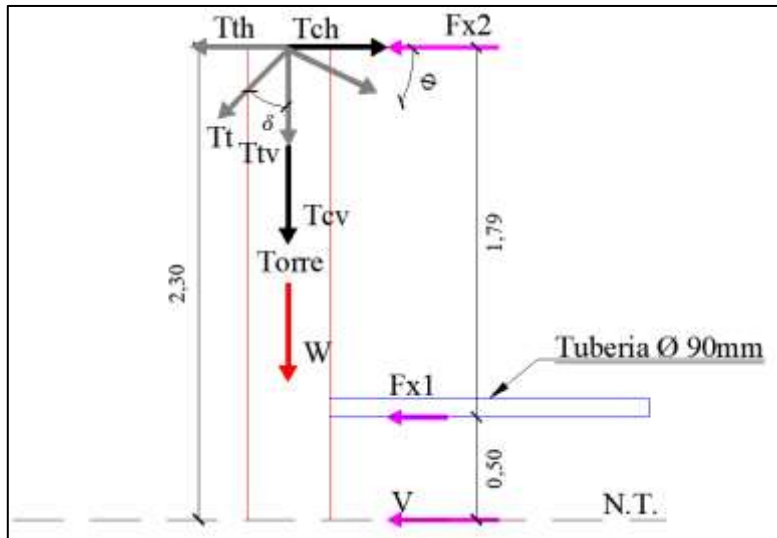
$$W_{ea} = 7188,27 \text{ kg}$$



**Diseño de la torre.**

El diseño a flexión de la viga sigue las sugerencias dadas por la norma (N.T.E. E.60 Concreto Armado, 2009). Y la norma (ACI 318SUS - 14, 2014); para ello se determina el momento último que resiste la columna.

$$M_{dis} = MF_{x1} + MF_{x2} + MT_{th} - MT_{ch}$$



Fuerzas actuantes sobre la torre del paso aéreo.

Fuente: Los Autores

$$T_{cv} = T_{dis} * \sin \Phi$$

$$T_{cv} = 2436,90 * \sin 9,87 = 417,70 \text{ kg}$$

$$T_{ch} = T_{dis} * \cos \Phi$$

$$T_{ch} = 2436,90 * \cos 9,87 = 2400,80 \text{ kg}$$

$$M_{dis} = (178,16 * 2,30) + (227,93 * 0,50) + (1723,15 * 2,30) - (2400,80 * 2,30)$$

$$M_{dis} = 95789,67 \text{ kg.cm}$$

Fuerzas Actuantes sobre la torre del cruce aéreo.		
Parámetro	Valor	Unidad
Peso de la Columna	879.4	kg
Tensión vertical del cable principal	417.70	kg
Tensión horizontal del cable principal	2400.80	kg
Tensión vertical del cable tensor	1767.27	kg
Tensión horizontal del cable tensor	1767.27	kg
Momento de último de diseño	95789.67	kg.cm

Fuente: Los Autores.

El armado a flexión de la columna sigue las directrices dadas en la (ACI 318SUS - 14); para ello se utiliza la siguiente ecuación

$$As = k * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{\phi * fy * d * k}} \right)$$

$$k = \frac{0,85 * f'c * b * d}{fy}$$

$$k = \frac{0,85 * 240 \text{ kg/cm} * 40\text{cm} * 35\text{cm}}{4200 \text{ kg/cm}}$$

$$k = 59,5$$

$$As = 59,5 * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 95789,67}{0,9 * 4200 \text{ kg/cm} * 35\text{cm} * 59,5}} \right)$$

$$As = 0,72 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = \frac{14}{fy} * b * d$$

$$As_{min} = \frac{14}{4200 \text{ kg/cm}} * 40 \text{ cm} * 35\text{cm}$$

$$As_{min} = 4,67\text{cm}^2$$

El acero por temperatura está dado con la siguiente ecuación:

$$As_t = 0,0018 * b * d$$

$$As_t = 0,0018 * 40\text{cm} * 35 \text{ cm}$$

$$As_t = 2,88 \text{ cm}^2$$

Donde:

As<sub>t</sub>: acero de refuerzo por temperatura (kg/cm<sup>2</sup>).

Armado de la torre del cruce aéreo		
Parámetro	Valor	Unidad
Número de varillas	6	u
Diámetro de la varilla	16	mm
Acero colocado	12.06	cm <sup>2</sup>
Separación	15.0	cm
Configuración del acero	6 φ 16 @ 15 cm	

Fuente: Los Autores.

La torre diseñada a flexión se verifica a compresión en base a lo establecido en la norma (N.T.E. E.60 Concreto Armado, 2009); para ello se utiliza las ecuaciones mostradas a continuación:

$$\phi P_n \geq Pu$$

$$\phi P_n = 0.80 * (0.85 * f'c * (b * h - Asc) + Asc * fy)$$

$$\phi P_n = 0.80 * (0.85 * 240 \text{ kg/cm} * (40 * 40 - 12,06 \text{ cm}^2) + \text{cm}^2 * 4200 \text{ kg/cm})$$

$$\phi P_n = 38834,23 \text{ kg}$$

$$Pu = W_t + T_{cv} + T_{tv}$$

$$Pu = 879,40 \text{ kg} + 417,70 \text{ kg} + 1723,15 \text{ kg}$$

$$Pu = 3020,22 \text{ kg}$$

$$38834,23 \geq 3020,22 \gg \gg \text{ok}$$

Se debe verificar la estructura a corte, para realizar la colocación del estribo necesario en la columna para ello se utilizó el método de diseño de la (ACI 318SUS - 14).

$$V_n = \phi(V_s + V_c)$$

$$V_u = V_n$$

$$V_u = \phi(V_s + V_c)$$

$$\frac{V_u}{\phi} - V_c = V_s$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V_u = T_{ch} - F_{x1} - F_{x2} - T_{th}$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{2400 \text{ kg/cm}} * 40\text{cm} * 35\text{cm}$$

$$V_c = 10752,60 \text{ kg}$$

$$V_u = 2400,08 - 178,16 - 227,93 - 1723,15$$

$$V_u = 271,60 \text{ kg}$$

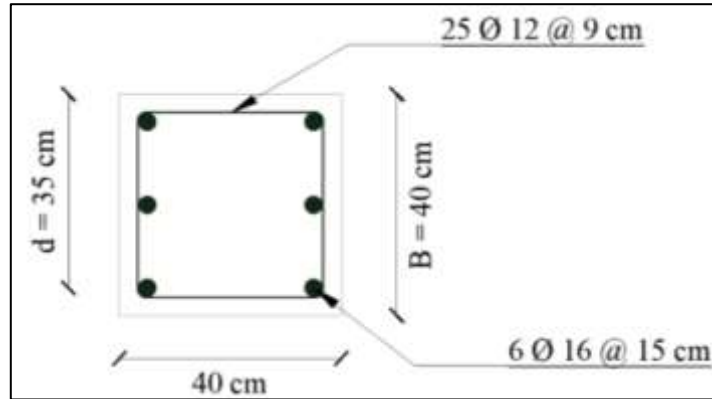
$$\frac{271,60 \text{ kg}}{0,75} - 10752,60 = V_s$$

$$V_s = 10390,47 \text{ kg}$$

Del análisis hecho se demuestra que la columna no necesita refuerzo por corte por esta razón se colocó el mínimo de acero necesario. Ya que no se requiere acero por refuerzo se coloca el acero mínimo.

Parámetro	Valor	Unidad
Separación	9	cm
Número de varillas	25	u
Diámetro de la varilla	12	mm
Área de la varilla	1,13	cm
Acero colocado	28.78	cm <sup>2</sup>
Configuración del acero	25 Ø12 @ 9 cm	

*Fuente: Los Autores.*



Armadura de acero en la torre.

Fuente: Los Autores.

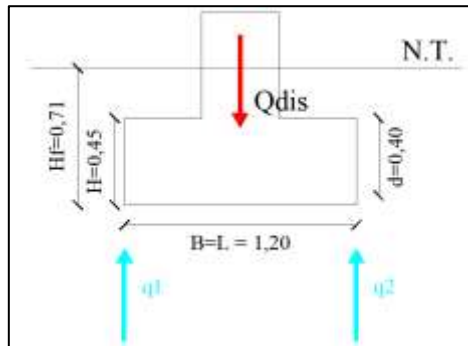
### Diseño de la Cimentación.

Al determinar la carga de diseño se utiliza la combinación de carga dada en la norma (NEC - SE - CG, 2015) de 1,4 veces la carga muerta

$$Q_{dis} = 1,4 * W_{torre}$$

$$Q_{dis} = 1,4 * (0,40 * 0,40 * 3,00 * 2400)$$

$$Q_{dis} = 1612,80 \text{ kg}$$



Fuente: Los Autores.

$$q_1 = q_2 = \frac{Q_{dis}}{B * L}$$

$$q_1 = q_2 = \frac{1612,80}{1,20 * 1,20}$$

$$q_1 = q_2 = 1120 \text{ kg/m}^2$$

Para la cimentación se diseñó una zapata cuadrada siguiendo la norma (ACI 318SUS - 14), donde indica que este tipo de zapatas se diseña por punzonamiento y deben cumplir la siguiente condición:

$$vc \geq vu$$

$$vc = 1,06 * \sqrt{f'c}$$

$$vc = 1,06 * \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2}$$

$$vc = 15,36 \text{ kg/cm}^2$$

$$Vu = qu * [(B * L) - (l_1 + d)(l_3 + d)]$$

$$l_1 = l_3 = \frac{120 - 40}{2}$$

$$l_1 = l_3 = 40 \text{ cm}$$

$$Vu = 1120 \text{ kg/m}^2 * [(1,20 * 1,20) - (0,40 + 0,40)(0,40 + 0,40)]$$

$$Vu = 896 \text{ kg}$$

$$b_o = 2 * [(b + d)(a + d)]$$

$$b_o = 2 * [(40 + 40)(40 + 40)]$$

$$b_o = 320 \text{ cm}^2$$

$$v_u = \frac{Vu}{\phi * b_o * d}$$

$$v_u = \frac{896}{0,85 * 320 * 40}$$

$$v_u = 0,082 \text{ kg/cm}^2$$

$$15,36 > 0,082 \gg \gg \text{ ok}$$

La verificación por corte - viga debe cumplir la siguiente condición:

$$vc \geq vu$$

$$vc = 0,53 * \sqrt{f'c}$$

$$vc = 0,53 * \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2}$$

$$vc = 7,68 \text{ kg/cm}^2$$

$$Vu = 1120 \text{ kg/m}^2 * 0,40\text{m} * 1\text{m}$$

$$Vu = 268,80 \text{ kg}$$

$$v_u = \frac{Vu}{\phi * b * d}$$

$$v_u = \frac{268,80 \text{ kg}}{0,75 * 100 * 40}$$

$$v_u = 0,09 \text{ kg/cm}^2$$

$$7,68 > 0,09 \gg \gg \text{ ok}$$

El armado de la zapata se hace utilizando la siguiente expresión para determinar el momento de último de diseño

$$Mu = \frac{q_{dis} * d^2}{2} * B$$

$$Mu = \frac{1120 \text{ kg/cm}^2 * 0,40^2}{2} * 1,20$$

$$Mu = \left[ \frac{1120 \text{ kg/cm}^2 * 0,40^2}{2} * 1,20 \right] * 100 = 10752 \text{ kg.cm}$$

La siguiente tabla muestra el diseño y acero colocado en la zapata; la conexión viga columna utiliza el mismo armado que la torre del cruce aéreo.

Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Acero adoptado	16.00	cm <sup>2</sup>	Asa
Área de la varilla	2.01	cm	Av
Número de varillas colocadas	9.00	u	#varillas
Separación	14	cm	Sa
Configuración del acero	9 Ø 16 @ 14 cm		En ambos sentidos
Acero Colocado	18.10	cm <sup>2</sup>	Asc

Fuente: Los Autores.

Estabilidad de la torre de sustentación del cruce aéreo.

Con el diseño total de la estructura se procede a revisar su estabilidad frente al deslizamiento y el volcamiento.

Se determina la excentricidad presente en la estructura utilizando la siguiente ecuación

$$e = \frac{B}{2} - d_e$$

$$d_e = \frac{\sum \text{momentos}}{\sum \text{fuerzas}}$$

$$d_e = \frac{-967,68 - 933,12 - 7202,49 + 5169,44 - 1033,89 - 250,63 + 683,78 + 295,75}{1612,8 + 1555,20 + 2400,80 + 1723,15 + 1723,15 + 417,7 + 227,93 + 178,16}$$

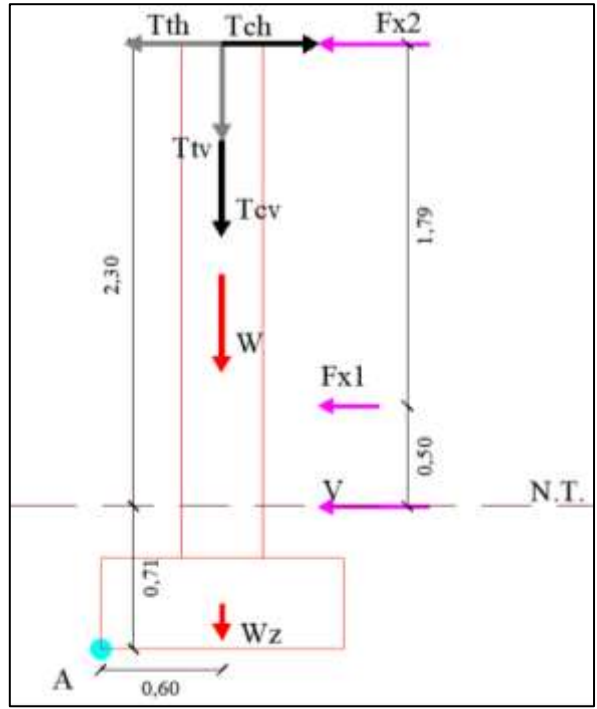
$$d_e = 0,43 \text{ m}$$

$$e = \frac{1,20}{2} - 0,43$$

$$e = 0,163 \text{ m}$$

$$e \leq \frac{B}{3}$$

$$0,163 \leq 0,40 \gg \gg \text{ ok}$$



Fuerzas actuantes sobre la estructura de soporte del cruce aéreo.  
Fuente: Los Autores.

$$Fr = (W + Wz + Ttv + Tcv) * u$$

$$Fr = (1612.8 + 1555.2 + 1723.15 + 417.7) * 0,315$$

$$Fr = 1673,88 \text{ kg}$$

$$FSD \geq 1,5$$

$$FSD = \frac{1673,88}{-2400.8 + 1723.15 + 227.93 + 178.16} = 6,16$$

$$6,16 > 1,5 \gggg \text{ Ok}$$

$$FSV \geq 2,0$$

$$FSV = \frac{10387.81}{5169.44} = 2,01$$

$$2,01 > 2,00 \gggg \text{ ok}$$

## Anexo N

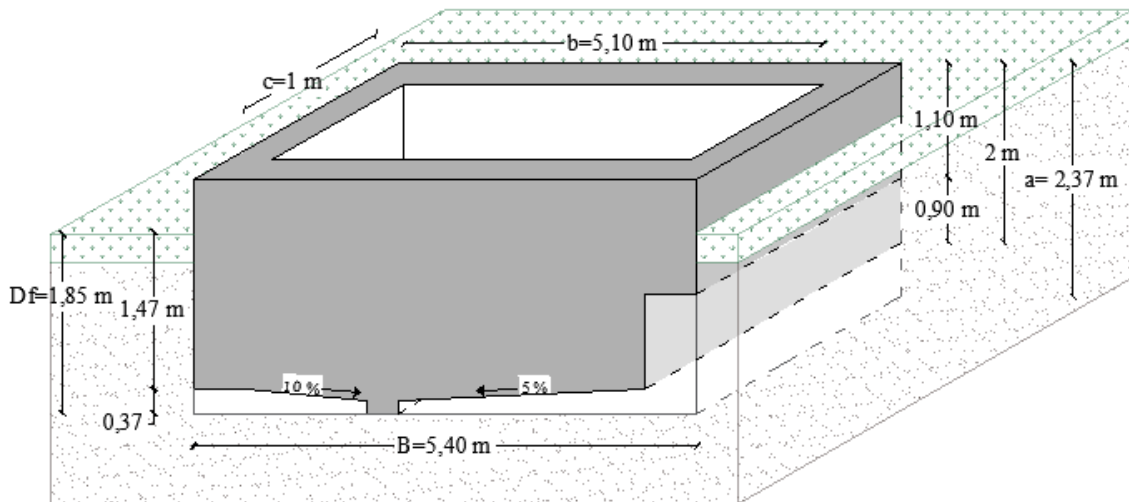
### Diseño estructural del desarenador.

#### Datos iniciales:

Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Altura total del tanque desarenador	2,37	m	a
Base útil del tanque desarenador	1	m	c
Longitud útil del tanque desarenador	5,1	m	b
Capacidad portante del suelo	2,01	kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>adm</sub>
Peso específico del suelo	1662	kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>s</sub>
Angulo de fricción del suelo	17,5	°	Ø
Borde libre	0,5	m	t
Altura del tirante de agua	1,87	m	Hl
Profundidad de desplante	1,85	m	Df
Resistencia a la compresión del hormigón	240	kg/cm <sup>2</sup>	f'c
Resistencia a la fluencia del acero	4200	kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>y</sub>
Densidad del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>w</sub>
Recubrimiento	5	cm	r
Espesor de los muros	0,2	m	e
Longitud total del tanque desarenador	5,5	m	B

Fuente: Los Autores.

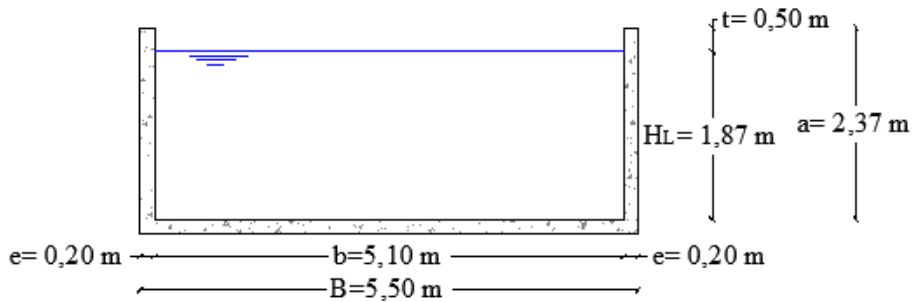
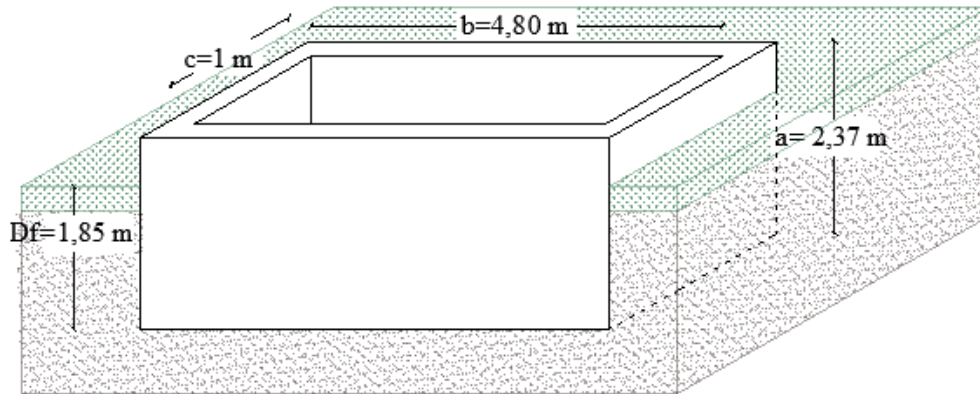
Para el diseño se consideró el desarenador como un tanque semienterrado como se puede apreciar en los siguientes gráficos:



Esquema del tanque desarenador

Fuente: Los Autores.



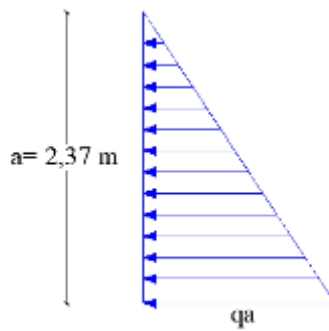


Dimensiones del tanque desarenador

Fuente: Los Autores.

### Cálculo de esfuerzos por el método de la PCA

#### Condición de carga N° 1: tanque lleno de líquido.



Esfuerzo generado por el agua

Fuente: Los Autores.

Donde:

qa: presión de agua ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$$qa = \gamma_w * a$$

$$qa = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 2,37 \text{ m}$$

$$qa = 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

En el capítulo IV se mencionó que el caso que se ajusta a esta condición es el 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, para entrar a las tablas realizadas por la (PCA, 1998), determinamos la relación: lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a). En los casos que los valores determinados no tenían correspondencia con alguna tabla se tomó el valor superior más cercano.

$$\frac{b}{a} = \frac{5,10 \text{ m}}{2,37 \text{ m}} = 2,156 \approx 2,5$$

$$\frac{c}{a} = \frac{1 \text{ m}}{2,37 \text{ m}} = 0,422 \approx 1,25$$

Los coeficientes de corte correspondientes a este caso tanto para la relación lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a) se muestran en la siguiente tabla:

<b>CASO 4 P.C. A</b>			
Ubicación		Lado largo (b/a)	Lado corto (c/a)
Borde inferior	punto medio	0,4	0,2
Borde lateral	máximo	0,26	0,17
Borde lateral	punto medio	0,26	0,13
Borde superior	punto medio	0,11	0,03

*Fuente: Los Autores.*

Por seguridad del diseño y considerando que todos los muros serán de un espesor y recubrimiento constante, se eligió el coeficiente de corte máximo de cada relación, los mismos se ubican en el borde inferior en el punto medio con valores de  $C_s=0,40$  y  $C_s=20$ , los coeficientes utilizados para verificar el cortante en los bordes lateral son  $C_s=0,26$  y  $C_s=17$ , respectivamente.

Primero se calculó: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado largo (b/a):

#### **Cálculo de la fuerza cortante**

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior de los muros:

$$V = C_s * q_a * a$$

$$V = 0,4 * 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 2,37 \text{ m}$$

$$V = 2246,76 \text{ kg}$$

La normativa del (ACI Committee 350, 2006) recomienda mayorar la fuerza de corte calculada por un factor de seguridad (FS= 1,4), debido a las combinaciones de cargas por fluido.

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 2246,76 \text{ kg}$$

$$V_U = 3145,46 \text{ kg}$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = C_s * q_a * a$$

$$V = 0,26 * 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 2,37 \text{ m}$$

$$V = 1460,394 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 1460,394 \text{ kg}$$

$$V_U = 2044,552 \text{ kg}$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,4 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. } Mx * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,4 * 1,3 * \text{coef. } Mx * 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Mux = 24,228 * \text{coef. } Mx$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (b/a= 2,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	2	5	8	9	9	2
0,8 a	4	11	15	17	18	4
0,7 a	5	15	21	23	24	5
0,6 a	7	18	24	27	28	7
0,5 a	7	19	25	28	28	7
0,4 a	7	17	22	23	24	7
0,3 a	6	11	13	13	13	6
0,2 a	1	0	-2	-4	-4	1
0,1 a	-8	-19	-26	-29	-30	-8
Borde inferior	-25	-49	-60	-64	-65	-25

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Mux (b/a= 2,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-48,46	48,46	121,14	193,82	218,05	218,05
0,8 a	-96,91	96,91	266,51	363,42	411,87	436,10
0,7 a	-145,37	121,14	363,42	508,79	557,24	581,47
0,6 a	-169,60	169,60	436,10	581,47	654,15	678,38
0,5 a	-169,60	169,60	460,33	605,70	678,38	678,38
0,4 a	-169,60	169,60	411,87	533,01	557,24	581,47
0,3 a	-145,37	145,37	266,51	314,96	314,96	314,96
0,2 a	-96,91	24,23	0	-48,46	-96,91	-96,91
0,1 a	-24,23	-193,82	-460,33	-629,93	-702,61	-726,84
Borde inferior	0	-605,70	-1187,17	-1453,68	-1550,59	-1574,82

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux = -1574,816 \text{ Kg.m}$$

### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,4 * coef. sanitario * coef. My * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,4 * 1,3 * coef. My * 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 24,228 * coef. My$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes My (b/a= 2,5)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-11	0	3	3	3	3
0,8 a	-21	0	5	6	5	5
0,7 a	-29	0	7	8	7	7
0,6 a	-35	0	9	9	8	8
0,5 a	-37	1	9	9	8	8
0,4 a	-35	2	8	8	7	6
0,3 a	-29	2	6	5	4	4
0,2 a	-18	1	2	1	0	0
0,1 a	-6	-1	-3	-5	-6	-6
Borde inferior	0	-5	-10	-12	-13	-13

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (b/a= 2,5)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-266,51	0	72,68	72,68	72,68	72,68
0,8 a	-508,79	0	121,14	145,37	121,14	121,14
0,7 a	-702,61	0	169,60	193,82	169,60	169,60
0,6 a	-847,98	0	218,05	218,05	193,82	193,82
0,5 a	-896,43	24,23	218,05	218,05	193,82	193,82
0,4 a	-847,98	48,46	193,82	193,82	169,60	145,37
0,3 a	-702,61	48,46	145,37	121,14	96,91	96,91
0,2 a	-436,10	24,23	48,46	24,23	0	0
0,1 a	-145,37	-24,23	-72,68	-121,14	-145,37	-145,37
Borde inferior	0	-121,14	-242,28	-290,74	-314,96	-314,96

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$Muy = -896,434 \text{ Kg.m}$$

Segundo se repite el procedimiento para el cálculo de: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado corto (c/a):

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior del muro:

$$V = Cs * qa * a$$

$$V = 0,2 * 2370 \frac{kg}{m^2} * 2,37 m; V = 1123,38 kg$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 1123,38kg; V_U = 1572,732 kg$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = Cs * qa * a$$

$$V = 0,17 * 2370 \frac{kg}{m^2} * 2,37 m; V = 954,873 kg$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 954,873 kg; V_U = 1336,822 kg$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,4 * coeficiente sanitario * coef. Mx * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,4 * 1,3 * coef. Mx * 2370 \frac{kg}{m^2} * \frac{2,37 m^2}{1000}; Mux = 22,228 * coef. Mx$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (c/a= 0,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	0	0	0	0	0	0
0,8 a	-1	0	0	0	0	0
0,7 a	-1	-1	0	0	1	1
0,6 a	-2	-1	0	1	1	1
0,5 a	-2	-1	0	1	1	1
0,4 a	-2	-1	0	1	2	2
0,3 a	-2	-1	1	2	3	3
0,2 a	-2	0	1	2	3	3
0,1 a	-1	0	0	0	0	0
Borde inferior	0	-2	-5	-9	-11	-11

Fuente: (PCA, 1998).

<b>Momentos Mux (c/a= 0,5)</b>						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	0	0	0	0	0	0
0,8 a	-24,23	0	0	0	0	0
0,7 a	-24,23	-24,23	0	0	24,23	24,23
0,6 a	-48,46	-24,23	0	24,23	24,23	24,23
0,5 a	-48,46	-24,23	0	24,23	24,23	24,23
0,4 a	-48,46	-24,23	0	24,23	48,46	48,46
0,3 a	-48,46	-24,23	24,23	48,46	72,68	72,68
0,2 a	-48,46	0	24,23	48,46	72,68	72,68
0,1 a	-24,23	0	0	0	0	0
Borde inferior	0	-48,46	-121,14	-218,05	-266,51	-266,51

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux = -1574,816 \text{ Kg. m}$$

#### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,4 * coef. sanitario * coef. My * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,4 * 1,3 * coef. My * 2370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 24,228 * coef. My$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

<b>Coefficientes My (c/a= 0,5)</b>						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-2	-1	0	1	1	1
0,8 a	-4	-2	0	1	2	2
0,7 a	-6	-3	0	2	3	3
0,6 a	-8	-4	0	2	4	4
0,5 a	-10	-5	0	3	5	5
0,4 a	-12	-5	0	3	5	6
0,3 a	-12	-5	0	3	5	6
0,2 a	-11	-4	0	3	4	5
0,1 a	-5	-2	0	1	2	2
Borde inferior	0	0	-1	-2	-2	-2

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (c/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-48,46	-24,23	0	24,23	24,23	24,23
0,8 a	-96,91	-48,46	0	24,23	48,46	48,46
0,7 a	-145,37	-72,68	0	48,46	72,68	72,68
0,6 a	-193,82	-96,91	0	48,46	96,91	96,91
0,5 a	-242,28	-121,14	0	72,68	121,14	121,14
0,4 a	-290,74	-121,14	0	72,68	121,14	145,37
0,3 a	-290,74	-121,14	0	72,68	121,14	145,37
0,2 a	-266,51	-96,91	0	72,68	96,91	121,14
0,1 a	-121,14	-48,46	0	24,23	48,46	48,46
Borde inferior	0	0	-24,23	-48,46	-48,46	-48,46

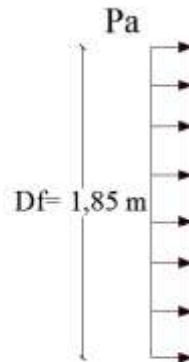
Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$Muy = -290,735 \text{ Kg. m}$$

### Condición de carga N° 2: tanque vacío, acción del suelo.

De acuerdo al estudio de suelos realizados, predomina un estrato seco con clasificación limo orgánico arcilloso, no se evidencio la presencia del nivel freático, por tal razón el análisis se realiza para un suelo uniforme, el diagrama de presiones es un rectángulo como se muestra en la figura.



Esfuerzo uniforme generado por el suelo

Fuente: Los Autores.

$$Pa = \gamma_s * Df * ka$$

Donde:

Pa: presión del suelo (kg/m<sup>2</sup>)

ka: coeficiente de presión lateral activa de Rankine.

$$ka = \frac{1 - \text{sen } \emptyset}{1 + \text{cos } \emptyset}$$

$$ka = \frac{1 - \text{sen } 17,5^\circ}{1 + \text{cos } 17,5^\circ}$$

$$ka = 0,54$$

$$Pa = 1662 \frac{kg}{m^3} * 1,85 m * 0,54$$

$$Pa = 1653,04 \frac{kg}{m^2}$$

En el capítulo IV se mencionó que el caso que se ajusta a esta condición es el 9: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, para entrar a las tablas realizadas por la PCA, determinamos la relación: lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a). En los casos que los valores determinados no tenían correspondencia con alguna tabla se tomó el valor superior más cercano.

$$\frac{b}{a} = \frac{5,10 m}{2,37 m} = 2,156 \approx 2,5$$

$$\frac{c}{a} = \frac{1 m}{2,37 m} = 0,422 \approx 1,25$$

Los coeficientes de corte correspondientes a este caso tanto para la relación lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a) se muestran en la siguiente tabla:

CASO 9 P.C. A			
Ubicación		Lado largo (b/a)	Lado corto (c/a)
Borde inferior	punto medio	0,6	0,22
Borde lateral	máximo	0,56	0,26
Borde lateral	punto medio	0,54	0,26
Borde superior	punto medio	0,39	0,18

Fuente: Los Autores.

Por seguridad del diseño y considerando que todos los muros serán de un espesor y recubrimiento constante, se eligió el coeficiente de corte máximo de cada relación, los mismos se ubican en el borde inferior en el punto medio con valores de  $C_s=0,6$  y  $C_s=0,22$ , los coeficientes utilizados para verificar el cortante en los bordes lateral son  $C_s=0,56$  y  $C_s=26$ , respectivamente.

Primero se calculó: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado largo (b/a):

#### Cálculo de la fuerza cortante

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior de los muros:

$$V = C_s * Pa * a$$

$$V = 2350,62 kg$$

La normativa del ACI 350 recomienda mayorar la fuerza de corte calculada por un factor de seguridad (FS= 1,6), debido a las combinaciones de cargas por fluido.

$$V_U = 1,6V$$

$$V_U = 3761 kg$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = C_s * Pa * a$$



$$V = 2193,92 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,6V$$

$$V_U = 3510,27 \text{ kg}$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,6, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. } Mx * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,6 * 1,3 * \text{coef. } Mx * 1653,04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Mux = 19,31 * \text{coef. } Mx$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (b/a= 2,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-7	10	22	27	30	31
0,8 a	-12	15	35	46	51	52
0,7 a	-15	17	42	56	62	64
0,6 a	-16	17	43	58	65	67
0,5 a	-16	15	39	53	59	60
0,4 a	-14	12	30	39	43	44
0,3 a	-10	6	15	18	18	18
0,2 a	-6	-3	-8	-13	-17	-18
0,1 a	-2	-17	-40	-55	-62	-64
Borde inferior	0	-40	-86	-110	-119	-122

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Mux (b/a= 2,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-135,19	193,13	424,88	521,44	579,38	598,69
0,8 a	-231,75	289,69	675,95	888,39	984,95	1004,26
0,7 a	-289,69	328,32	811,13	1081,51	1197,39	1236,01
0,6 a	-309,00	328,32	830,45	1120,14	1255,33	1293,95
0,5 a	-309,00	289,69	753,20	1023,57	1139,45	1158,76
0,4 a	-270,38	231,75	579,38	753,20	830,45	849,76
0,3 a	-193,13	115,88	289,69	347,63	347,63	347,63
0,2 a	-115,88	-57,94	-154,50	-251,07	-328,32	-347,63
0,1 a	-38,63	-328,32	-772,51	-1062,20	-1197,39	-1236,01
Borde inferior	0	-772,51	-1660,89	-2124,40	-2298,21	-2356,15

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux - 2356,15 \text{ Kg.m}$$

### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. My} * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,6 * 1,3 * \text{coef. My} * 31653,04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 19,31 * \text{coef. My}$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes My (b/a= 2,5)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-34	-35	2	9	8	8
0,8 a	-59	-60	3	15	14	14
0,7 a	-74	-75	2	19	18	17
0,6 a	-80	-81	2	20	19	18
0,5 a	-78	-79	1	19	17	16
0,4 a	-67	-68	1	16	13	12
0,3 a	-50	-50	1	10	7	6
0,2 a	-29	-29	0	3	-2	-2
0,1 a	-8	-8	-3	-7	-12	-13
Borde inferior	0	0	-8	-17	-24	-24

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (b/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-656,63	-675,95	38,63	173,81	154,50	154,50
0,8 a	-1139,45	-1158,76	57,94	289,69	270,38	270,38
0,7 a	-1429,14	-1448,45	38,63	366,94	347,63	328,32
0,6 a	-1545,02	-1564,33	38,63	386,25	366,94	347,63
0,5 a	-1506,39	-1525,71	19,31	366,94	328,32	309,00
0,4 a	-1293,95	-1313,27	19,31	309,00	251,07	231,75
0,3 a	-965,64	-965,64	19,31	193,13	135,19	115,88
0,2 a	-560,07	-560,07	0,00	57,94	-38,63	-38,63
0,1 a	-154,50	-154,50	-57,94	-135,19	-231,75	-251,07
Borde inferior	0	0,00	-154,50	-328,32	-463,51	-463,51

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$Muy - 2356,15 \text{ Kg.m}$$

Segundo se repite el procedimiento para el cálculo de: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado corto (c/a):

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior del muro:

$$V = Cs * Pa * a$$

$$V = 0,36 * 1653,04 \frac{kg}{m^2} * 2,37 m$$

$$V = 861,896 kg$$

$$V_U = 1,6V$$

$$V_U = 1,6 * 861,896 kg$$

$$V_U = 1379,03 kg$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,6 * coeficiente sanitario * coef. Mx * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,6 * 1,3 * coef. Mx * 1653,04 \frac{kg}{m^2} * \frac{2,37 m^2}{1000}$$

$$Mux = 19,31 * coef. Mx$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (c/a= 0,5)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-2	0	2	3	4	4
0,8 a	-4	-1	1	3	4	4
0,7 a	-4	-2	0	2	3	3
0,6 a	-4	-2	0	2	3	3
0,5 a	-4	-2	0	2	2	3
0,4 a	-4	-2	0	2	3	3
0,3 a	-4	-1	1	2	3	4
0,2 a	-3	-1	1	2	3	3
0,1 a	-1	0	0	0	0	0
Borde inferior	0	-2	-6	-11	-13	-14

Fuente: (PCA, 1998).

<b>Momentos Mux (c/a= 0,5)</b>						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-38,63	0,00	38,63	57,94	77,25	77,25
0,8 a	-77,25	-19,31	19,31	57,94	77,25	77,25
0,7 a	-77,25	-38,63	0,00	38,63	57,94	57,94
0,6 a	-77,25	-39	0,00	38,63	57,94	57,94
0,5 a	-77,25	-39	0,00	38,63	38,63	57,94
0,4 a	-77,25	-39	0,00	38,63	57,94	57,94
0,3 a	-77,25	-19	19,31	38,63	57,94	77,25
0,2 a	-57,94	-19,31	19,31	38,63	57,94	57,94
0,1 a	-19,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Borde inferior	0,0	-38,63	-115,88	-212,44	-251,07	-270,38

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux - 270,38 \text{ Kg.m}$$

Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. My} * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,6 * 1,3 * \text{coef. My} * 1653,04 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{2,37 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 19,31 * \text{coef. My}$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

<b>Coefficientes My (c/a= 1,25)</b>						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-12	-4	1	3	5	5
0,8 a	-18	-7	0	5	7	8
0,7 a	-20	-9	0	5	9	10
0,6 a	-21	-9	-1	5	9	10
0,5 a	-21	-9	-1	5	9	10
0,4 a	-20	-9	0	5	9	10
0,3 a	-18	-8	0	5	8	9
0,2 a	-4	-6	0	4	6	6
0,1 a	-6	-2	0	1	2	2
Borde inferior	0	0	-1	-2	-3	-3

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (c/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-231,75	-77,25	19,31	57,94	96,56	96,56
0,8 a	-347,63	-135,19	0,00	96,56	135,19	154,50
0,7 a	-386,25	-173,81	0,00	96,56	173,81	193,13
0,6 a	-405,57	-173,81	-19,31	96,56	173,81	193,13
0,5 a	-405,57	-173,81	-19,31	96,56	173,81	193,13
0,4 a	-386,25	-173,81	0,00	96,56	173,81	193,13
0,3 a	-347,63	-154,50	0,00	96,56	154,50	173,81
0,2 a	-77,25	-115,88	0,00	77,25	115,88	115,88
0,1 a	-115,88	-38,63	0,00	19,31	38,63	38,63
Borde inferior	0	0,00	-19,31	-38,63	-57,94	-57,94

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$M_{uy} = -405,57 \text{ Kg.m}$$

### Condición de carga N° 3: fuerzas dinámicas en el tanque.

Para realizar el diseño estructural con la acción de fuerzas sísmicas, se verificó si el valor de la carga dinámica última ( $U_D$ ) es superior al valor de la carga estática última ( $U_E$ ), si se cumple esta condición se debe diseñar con la acción de las fuerzas dinámicas, caso contrario la estructura no se ve afectada por la acción de estas fuerzas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas (ACI 350.3, 2001).

Cálculo de las cargas dinámicas de diseño:

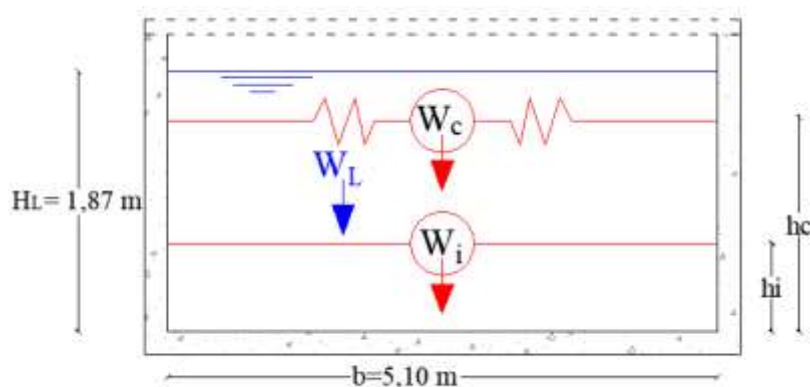
Determinamos el peso del líquido.

$$W_L = \gamma_w * H_L * b * c$$

$$W_L = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,7 \text{ m} * 5,1 \text{ m} * 1,00 \text{ m}$$

$$W_L = 9537 \text{ kg}$$

Determinamos el peso de la componente impulsiva ( $W_i$ ) y componente convectiva ( $W_c$ ), dadas por las siguientes fórmulas:



Modelo dinámico

Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016).

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{b}{H_L}\right)}{0,866 * \frac{b}{H_L}} * W_L$$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{5,10 \text{ m}}{1,87 \text{ m}}\right)}{0,866 * \frac{5,10 \text{ m}}{1,87 \text{ m}}} * 9537 \text{ kg}$$

$$W_i = 59790,372 \text{ kg}$$

$$W_c = \left[0,264 * \left(\frac{b}{H_L}\right) * \tanh\left(3,16 * \frac{H_L}{b}\right)\right] * W_L$$

$$W_c = \left[0,264 * \left(\frac{5,10 \text{ m}}{1,87 \text{ m}}\right) * \tanh\left(3,16 * \frac{1,87 \text{ m}}{5,10 \text{ m}}\right)\right] * 9537 \text{ kg}$$

$$W_c = 5634,798 \text{ kg}$$

Para determinar las solicitaciones sísmicas se utilizó la norma (NEC - SE - DS , 2015); a continuación se muestra la ecuación establecida para el cálculo de la fuerza producida por masa impulsiva (Pi) y la fuerza producida por masa convectiva (Pc) y a través de una tabla se presentan los parámetros que intervienen en las ecuaciones.

$$P_i = \frac{I S_a(T_a)}{R_i \phi_P \phi_E} W_i ; P_c = \frac{I S_a(T_a)}{R_c \phi_P \phi_E} W_c$$

Donde:

Pi: fuerza producida por masa impulsiva (kg).

Pc: fuerza producida por masa convectiva (kg).

I: coeficiente de importancia.

Sa (Ta): espectro de diseño en aceleración.

Ri: factor de reducción de respuesta (impulsiva).

Rc: factor de reducción de respuesta (convectiva).

$\phi_P$ - $\phi_E$  : coeficientes de configuración en planta y elevación.

Wi: peso de la componente impulsiva.

Wc: peso de la componente convectiva

Ta: período de vibración.

Determinación de las fuerzas dinámicas			
Parámetro	Valor	Unidad	Variable
Factor de importancia	1,25	u	I
Factor de reducción de respuesta (impulsiva)	2,5	u	Ri
Factor de reducción de respuesta (convectiva)	1	u	Rc
Zonificación Sísmica	V		
Región del Ecuador	Sierra		
Factor de aceleración de la zona	0,35	u	Z
Relación de amplificación espectral	2,48	u	n
Coefficiente Ct	0,055	u	Ct
Altura total del elemento	2,37	m	hn
Coefficiente para cálculo de periodo	0,9	u	$\alpha$
Tipo de Suelo	E		
Factor de sitio Fa	1	u	Fa
Factor de sitio Fd	1,6	u	Fd
Factor de comportan. inelástico suelo	1,9	u	Fs
Factor asociado al periodo de retorno	1,5	u	r
Factor de irregularidad en planta	1	u	$\phi p$
Factor de irregularidad en elevación	1	u	$\phi e$
Aceleración de la gravedad	9,81	m/s <sup>2</sup>	g
Período teórico método 1	0,12	s	T1
Período teórico método 1 mayorado	0,16	s	T2
Periodo Límite en T=To	0,30	s	To
Periodo Límite en T=Tc	1,67	s	Tc
Periodo Límite en T=TL	3,84	s	TL
Aceleración en T=0	0,35	g	Sa
Aceleración en T=To	0,87	g	Sao
% de reducción de respuesta	0,400	u	f

Fuente: Los Autores.

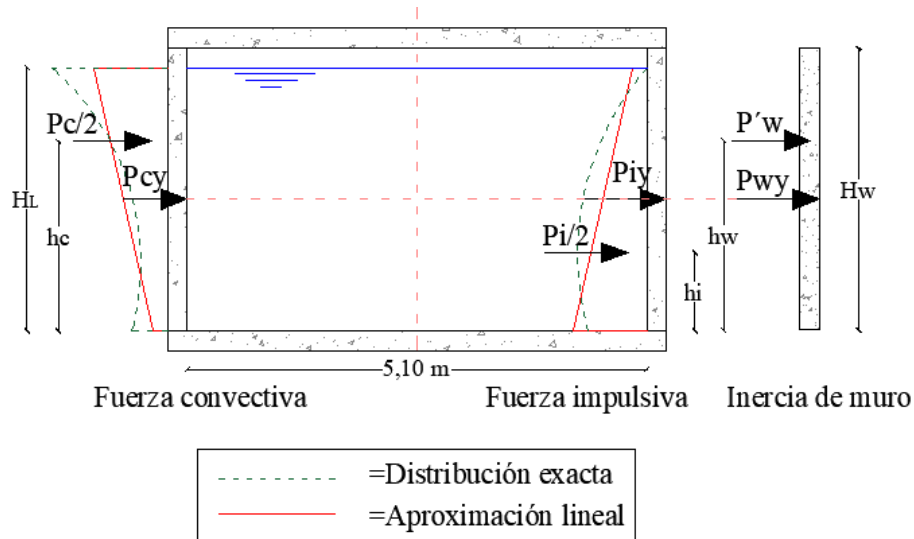
$$P_i = \frac{1,25 * 0,87 \text{ g} * 0,12 \text{ s}}{2,5 * 1 * 1} * 3966,885 \text{ kg}$$

$$P_i = 205,862 \text{ kg}$$

$$P_c = \frac{1,25 * 0,87 \text{ g} * 0,12 \text{ s}}{2,5 * 1 * 1} * 5634,798 \text{ kg}$$

$$P_c = 11111,848 \text{ kg}$$

Cálculo de la presión hidrodinámica total (Py) en la base del tanque con la siguiente ecuación:



Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016).

$$P_y = \sqrt{(P_{iy} + P_{wy})^2 + P_{cy}^2 + P_{vy}^2}$$

Donde:

$P_y$ : presión hidrodinámica total ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{iy}$ : presión dinámica impulsiva unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{wy}$ : fuerza de inercia unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{cy}$ : presión dinámica convectiva unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{vy}$ : presión hidrodinámica por efecto de la aceleración vertical ( $\text{kg/m}^2$ ).

Determinamos la presión dinámica convectiva unitaria ( $P_{cy}$ ):

$$P_{cy} = \frac{0,5Pc * \left[ 4H_L - 6hc - (6H_L - 12hc) * \left( \frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

Donde:

$hc$ : altura de la componente convectiva (m).

$y$ : distancia vertical al centro del líquido (m).

$$hc = H_L * \left[ 1 - \frac{\cosh \left[ 3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \right] - 1}{3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \sinh \left[ 3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \right]} \right]$$

$$hc = 4 \text{ m} * \left[ 1 - \frac{\cosh \left[ 3,16 * \left( \frac{1,87 \text{ m}}{5,10 \text{ m}} \right) \right] - 1}{3,16 * \left( \frac{1,87 \text{ m}}{5,10 \text{ m}} \right) \sinh \left[ 3,16 * \left( \frac{1,87 \text{ m}}{5,10 \text{ m}} \right) \right]} \right]$$

$$hc = 0,74 \text{ m}$$

$$P_{cy} = \frac{0,5 * 731,045 \text{ kg} * \left[ 4 * 1,87 \text{ m} - 6 * 0,74 \text{ m} - (6 * 1,87 \text{ m} - 12 * 0,74 \text{ m}) * \left( \frac{0,94 \text{ m}}{1,87 \text{ m}} \right) \right]}{4 \text{ m}^2}$$



$$P_{cy} = 195,467 \frac{kg}{m}$$

$$P_{c(y=0)} = \frac{P_{cy}}{c}$$

$$P_{c(y=0)} = \frac{195,467 \frac{kg}{m}}{1,00 m}; P_{c(y=0)} = 195,467 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la presión dinámica convectiva unitaria ( $P_{iy}$ ):

$$P_{iy} = \frac{0,5P_i * \left[ 4H_L - 6hc - (6H_L - 12hc) * \left( \frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

$$P_{iy} = \frac{0,5 * 205,862 kg * \left[ 4 * 1,87 m - 6 * 0,74 m - (6 * 1,87 m - 12 * 0,74 m) * \left( \frac{0,94 m}{1,87 m} \right) \right]}{4 m^2}$$

$$P_{iy} = 55,0043 \frac{kg}{m}$$

$$p_{i(y=0)} = \frac{P_{iy}}{c}$$

$$p_{i(y=0)} = \frac{55,0043 \frac{kg}{m}}{1,00 m}; p_{i(y=0)} = 55,0043 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la fuerza de inercia unitaria ( $P_{wy}$ ):

$$P_{wy} = \frac{IS_a(T_a)}{Ri\phi_P\phi_E} * \frac{\varepsilon * \gamma h * c * e}{12}$$

Donde:

$\varepsilon$ : coeficiente de la masa efectiva  $\leq 1$ .

$\gamma h$ : peso específico del hormigón ( $kg/m^3$ ).

$e$ : espesor de los muros (m).

$$\varepsilon = \left[ 0,0151 * \left( \frac{b}{H_L} \right)^2 - 0,1908 * \left( \frac{b}{H_L} \right) + 1,021 \right] \leq 1$$

$$\varepsilon = \left[ 0,0151 * \left( \frac{5,10 m}{1,87 m} \right)^2 - 0,1908 * \left( \frac{5,10 m}{1,87 m} \right) + 1,021 \right] \leq 1$$

$$\varepsilon = 0,613 \leq 1$$

$$P_{wy} = \frac{1,25 * 0,87 g * 0,12 s}{2,5 * 1 * 1} * \frac{0,613 * 2400 \frac{kg}{m^3} * 1,00 m * 0,20 m}{12}$$

$$P_{wy} = 127,236 \frac{kg}{m}$$

$$p_{wy} = \frac{P_{wy}}{c}$$

$$p_{wy} = \frac{127,236 \frac{kg}{m}}{1,00 m}; p_{wy} = 127,236 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la presión hidrodinámica por efecto de la aceleración vertical ( $P_{vy}$ ):

$$p_{vy} = \ddot{u}_v * q_{hy}$$

Donde:

$\ddot{u}_v$ : aceleración espectral vertical.

$q_{hy}$ : presión hidrostática ( $kg/m^2$ ).

Cálculo de la aceleración espectral vertical ( $\ddot{u}_v$ ):

$$\ddot{u}_v = 0,4S_{Ds} * \frac{2/3}{Ri} \geq 0,2S_{Ds}$$

Donde:

$$C_t = 0,4S_{Ds} \text{ Para tanques rectangulares}$$

$$\ddot{u}_v = 0,055 * \frac{2/3}{2,5} \geq 0,2S_{Ds}$$

$$\ddot{u}_v = 0,015 \geq 0,0275$$

Cálculo de la presión hidrostática ( $q_{hy}$ ):

$$q_{hy} = \gamma_w * (H_L - y)$$

$$q_{hy} = 1000 \frac{kg}{m^3} * (1,87 m - 0,94 m)$$

$$q_{hy} = 935 \frac{kg}{m^2}$$

Por lo tanto:

$$p_{vy} = 0,015 * 935 \frac{kg}{m^2}; p_{vy} = 13,713 \frac{kg}{m^2}$$

Con las presiones determinadas y la fuerza de inercia unitaria, calculamos la presión hidrodinámica ( $P_y$ ):

$$P_y = \sqrt{(P_{iy} + P_{wy})^2 + P_{cy}^2 + P_{vy}^2}$$

$$P_y = \sqrt{\left(55,043 \frac{kg}{m^2} + 127,236 \frac{kg}{m^2}\right)^2 + \left(195,476 \frac{kg}{m^2}\right)^2 + \left(13,713 \frac{kg}{m^2}\right)^2}$$

$$P_y = 267,62 \frac{kg}{m^2}$$

Calculamos las cargas últimas, con las dos combinaciones para las diferentes cargas, con las siguientes expresiones y verificamos si es necesario el diseño del tanque con la acción de fuerzas sísmicas o fuerzas estáticas.

Acción de fuerzas estáticas:

$$U_E = 2,7WL$$

$$U_E = 1,7 * \left( 1000 \frac{kg}{m^3} * 2,37 m \right)$$

$$U_E = 4029 \frac{kg}{m^2}$$

Acción de fuerzas estáticas y fuerzas dinámicas:

$$U_D = 1,2WL + 1E$$

$$U_D = 1,2 * \left( 1000 \frac{kg}{m^3} * 4 m \right) + 4029 \frac{kg}{m^2}$$

$$U_D = 3111,62 \frac{kg}{m^2}$$

$$U_E > U_D$$

$$4029 \frac{kg}{m^2} > 3111,62 \frac{kg}{m^2}$$

La estructura no se ve afectada por la acción de las fuerzas sísmicas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas.

### Momentos de diseño

Después del análisis realizado para las 3 condiciones de carga y la verificación realizada en la condición N° 3, a continuación, se resumen en una tabla los valores de los momentos de diseño obtenidos de la condición N° 1 y de la condición N° 2.

<b>Condición N° 1: momentos producidos por la carga lateral del agua</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
Mux (-) Lado largo	-1574,816	kg.m
Mux (-) Lado corto	-266,507	kg.m
Muy (-) Lado largo	-896,434	kg.m
Muy (-) Lado corto	-290,735	kg.m

*Fuente: Los Autores.*

<b>Condición N° 2: momentos producidos por la carga lateral uniforme del suelo</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
Mux (+) Lado largo	2356,153	kg.m
Mux (+) Lado corto	270,378	kg.m
Muy (+) Lado largo	1564,331	kg.m
Muy (+) Lado corto	405,567	kg.m

*Fuente: Los Autores.*

Diseño de los elementos del tanque de 126 m<sup>3</sup>

Para el diseño se utilizó la normativa (NEC-SE-HM, 2015) y (ACI 350.3-01, 2007).

### Diseño de los muros

Se asumió un espesor de 20 cm para los muros, la profundidad del agua no supera los 3 m y un recubrimiento de 5 cm.

### Diseño de los muros largos

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

El cortante mayorado ( $V_u$ ) resulta del cálculo realizado para la condición N° 2.

$$V_u = 3761 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Donde:

$V_c$ : capacidad resistente del hormigón (kg).

$\phi$ : factor de reducción.

$f'c$ : resistencia a la compresión del hormigón ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

$bw$ : ancho unitario (m).

$d$ : altura efectiva (m).

$$\phi V_c = 0,53 * 0,85 * \sqrt{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * (20 - 5) \text{ cm}$$

$$\phi V_c = 10468,67 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$10468,67 \text{ kg} > 3761 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación al cortante en los bordes laterales del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

$$V_u = 3510,27 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \left(1 + \frac{Nu}{35 * Ag}\right) * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Donde:

$Nu$ : cortante mayorado del muro corto (kg). Por seguridad del diseño se consideran tracciones que pueden producirse en muros continuos.

$Ag$ : Área unitaria ( $\text{cm}^2$ ).

$$Nu = 1379,03 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * 0,85 * \left(1 + \frac{1379,03 \text{ kg}}{35 * (100 \text{ cm} * 20 \text{ cm})}\right) * \sqrt{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * (20 - 5) \text{ cm}$$

$$\phi V_c = 10674,91 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$10674,91 \text{ kg} > 3510,27 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación a flexión

Diseño de la cara interna de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral del agua.

$$M_{ux} (-)\text{Lado largo} = -1574,816 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} (-)\text{Lado largo} = -896,434 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara interna)

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\phi * b_w * d^2}$$

Donde:

$\phi$ : factor de reducción de resistencia del hormigón

$$R_u = \frac{1574,816 \text{ kg.m} * 1000}{0,9 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}^2}; R_u = 7,78 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{f_y}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}}\right)$$

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * 7,78 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}\right)$$

$$\rho = 0,0019$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d$$

$$A_s = 0,0030 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 2,84 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$\rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\text{mín}}$ )

$$A_{s\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * b_w * d$$

$$A_{s\text{mín}} = 0,0033 * 100 \text{ cm} * 15 \text{ cm}$$

$$A_{s_{\min}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

Armado de la cara interna de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara interna)

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{uy}}{\varnothing * b_w * d^2}; R_u = 4,43 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'_c}} \right); \rho = 0,0019$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d; A_s = 2,84 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s_{\min}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{s_{\text{tracción}}}$ )

$$A_{s_{\text{tracción}}} = \frac{S_d * Nu}{\phi * f_y}$$

Donde:

$S_d$ : coeficiente de durabilidad ambiental para tracción directa (ACI 350.3-01, 2007).

$N_u$ : carga axial mayor (lado corto) (kg).

$\phi$ : factor de reducción de resistencia del hormigón.

$$A_{s_{\text{tracción}}} = \frac{1,65 * 1379,03 \text{ kg}}{0,9 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}; A_{s_{\text{tracción}}} = 0,602 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$A_s = A_{s_{\min}} + \frac{A_{s_{\text{tracción}}}}{2}; A_s = 5,30 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

Armado de la cara interna de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\phi$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	$A_v$
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	$A_{sc}$
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\phi</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

Diseño de la cara externa de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral uniforme del suelo

$$Mux (-)Lado largo = -2356,153 \text{ kg.m}$$

$$Muy (-)Lado largo = -1564,331 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara externa)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 11,64 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0029$$

Calculamos acero requerido (As)

$$As = \rho * bw * d; As = 4,29 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo (As<sub>mín</sub>)

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld



Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara externa)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 7,73 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0019$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 2,82 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{fy}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\text{mín}}$ )

$$As_{\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; As_{\text{mín}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $As_{\text{tracción}}$ )

$$As_{\text{tracción}} = \frac{S_d * Nu}{\emptyset * fy}; As_{\text{tracción}} = 0,602 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$As = As_{\text{mín}} + \frac{As_{\text{tracción}}}{2}; As = 5,30 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
$(C_b + K_{tr})/db$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de los muros cortos

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

El cortante mayorado ( $V_u$ ) resulta del cálculo realizado para la condición N° 1.

$$V_u = 1572,732 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$\phi V_c = 10468,67 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$10468,67 \text{ kg} > 1572,732 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación al cortante en los bordes laterales del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ ). El cortante mayorado se tomó de la condición N° 1.

$$V_u = 1629,766 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \left(1 + \frac{Nu}{35 * Ag}\right) * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$Nu = 3510,27 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 10993,64 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$10993,64 \text{ kg} > 1629,766 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación a flexión

Diseño de la cara interna de los muros cortos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral del agua.

$$M_{ux} (-) \text{Lado corto} = -266,507 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} (-) \text{Lado corto} = -290,735 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara interna)

Determinamos  $R_u$

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 1,32 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0003$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 0,47 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### **Cálculo de los refuerzos horizontales (cara interna)**

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 1,44 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0007$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 0,52 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $As_{\text{tracción}}$ )

$$As_{\text{tracción}} = \frac{S_d * Nu}{\emptyset * fy}; As_{\text{tracción}} = \frac{1,65 * 1310,27 \text{ kg}}{0,9 * 4200 \frac{kg}{cm^2}}; As_{\text{tracción}} = 1,532 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$As = As_{\min} + \frac{As_{\text{tracción}}}{2}; As = 5,77 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db

(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

Diseño de la cara externa de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral uniforme del suelo

$$Mux (-)Lado corto = -270,378 \text{ kg.m}$$

$$Muy (-)Lado corto = -405,567 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara externa)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 1,34 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0003$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 0,48 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara externa)

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{uy}}{\emptyset * b_w * d^2}; R_u = 2,00 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'_c}}\right); \rho = 0,0005$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d; A_s = 0,72 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * b_w * d; A_{s_{\min}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{s_{\text{tracción}}}$ )

$$A_{s_{\text{tracción}}} = \frac{S_d * N_u}{\emptyset * f_y}; A_{s_{\text{tracción}}} = 1,532 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con la siguiente expresión:

$$A_s = A_{s_{\min}} + \frac{A_{s_{\text{tracción}}}}{2}; A_s = 5,77 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

<b>Armado de la cara externa de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	$A_v$
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	$A_{sc}$
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de las paredes internas

Se asumió un espesor de 15 cm y un recubrimiento de 4 cm según la (ACI 318S-14, 2014) para barras No 5 y menores.

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

El cortante mayorado ( $V_u$ ) resulta del cálculo realizado para la condición N° 1.

$$V_u = 1572,732 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$\phi V_c = 7677,03 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$7677,03 > 1572,732 \text{ kg kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación al cortante en los bordes laterales del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ ). El cortante mayorado se tomó de la condición N°1.

$$V_u = 1629,766 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \left( 1 + \frac{Nu}{35 * A_g} \right) * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$Nu = 3510,27 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 8190,33 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$8190,33 \text{ kg} > 1629,766 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación a flexión

Diseño de las paredes internas del desarenador, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral del agua.

$$Mux (-)Lado corto = -266,507 \text{ kg.m}$$

$$Muy (-)Lado corto = -290.735 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (caras internas)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 2,45 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0006$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 0,65 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{fy}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\text{mín}}$ )

$$As_{\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; As_{\text{mín}} = 3,75 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$



Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (caras internas)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 2,67 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0006$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 0,71 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$A_{s\min} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s\min} = 3,67 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{stracción}$ )

$$A_{stracción} = \frac{S_d * Nu}{\emptyset * fy}; A_{stracción} = \frac{1,65 * 1310,27 \text{ kg}}{0,9 * 4200 \frac{kg}{cm^2}}; A_{stracción} = 1,532 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$A_s = A_{s\min} + \frac{A_{stracción}}{2}; A_s = 4,43 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de la losa de fondo

Se asumió un espesor de la losa  $e=20$  cm y un recubrimiento de 5 cm.

### Momentos de diseño

<b>Cara inferior, momentos máximos que está en contacto con el suelo</b>		
Mux (inferior Ll)	2356,15	kg.m
Mux (inferior Lc)	270,38	kg.m

Fuente: Los Autores.

<b>Cara superior, momentos máximos que está en contacto con el agua</b>		
Mux (superior Ll)	1574,82	kg.m
Mux (superior Lc)	266,51	kg.m

Fuente: Los Autores.

### Cálculo del refuerzo inferior longitudinal

$$Mux \text{ (inferior Ll)} = 2356,15 \text{ kg.m}$$

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{Mux}{\phi * b_w * d^2}; R_u = 11,64 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'_c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'_c}} \right); \rho = 0,0029$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 4,29 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$A_{s\min} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s\min} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo inferior longitudinal

<b>Armado del refuerzo inferior longitudinal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo inferior transversal

$$M_{ux} \text{ (inferior Ll)} = 270,38 \text{ kg.m}$$

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\Ø * bw * d^2}; R_u = 1,34 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0003$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 0,48 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\text{mín}}$ )

$$A_{s\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; A_{s\text{mín}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo inferior transversal

<b>Armado del refuerzo inferior transversal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo superior longitudinal

$$M_{ux} (\text{superior } Ll) = 1574,82 \text{ kg.m}$$

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\Ø * bw * d^2}; R_u = 7,78 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0019$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 2,84 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\text{mín}}$ )

$$A_{s\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; A_{s\text{mín}} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo superior transversal

<b>Armado del refuerzo superior transversal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo superior transversal

$$M_{ux} (\text{superior } L_c) = 266,51 \text{ kg.m}$$

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\Ø * bw * d^2}; R_u = 1,32 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0023$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 0,47 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\text{mín}}$ )

$$A_{s\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; A_{s\text{mín}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo superior transversal

Armado del refuerzo superior transversal			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

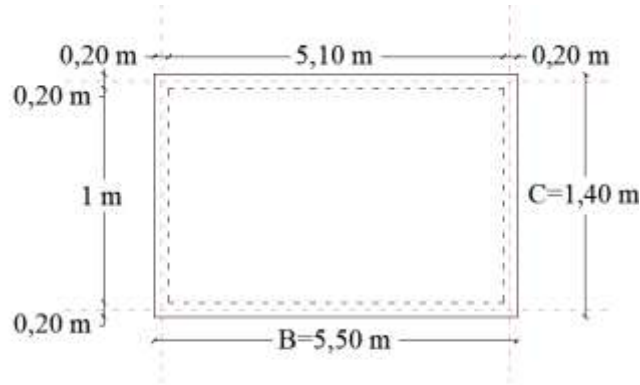
Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de la tapa losa

Se diseñó como una losa simplemente apoyada en las coronas de los muros.



Vista en planta de la losa tapa

Fuente: Los Autores.

Cálculo del espesor de losa

$$e = \frac{\text{perímetro}}{150}$$

$$e = \frac{(5,5 + 1,4 + 5,5 + 1,4) \text{ m}}{150} = 0,09 \text{ m}$$

Se asumió un espesor de 20 cm y un recubrimiento de 5 cm.

#### Datos iniciales:

Se manejó el coeficiente de durabilidad ambiental dado en la (ACI 350.3-01, 2007), para evitar el agrietamiento en condiciones de servicio.

Los valores de momento y cortante utilizados para el diseño fueron multiplicados por el coeficiente de durabilidad ambiental  $S_d = 1,3$  (flexión y corte)

Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Base total del tanque	1,4	m	C
Longitud total del tanque desarenador	5,5	m	B
Espesor de la losa tapa calculada	0,09	m	e
Espesor de la losa tapa asumida	0,2	m	e,asum
Peso específico del hormigón armado	2400	kg/m <sup>3</sup>	$\gamma_h$
Área de apoyo de la losa de cubierta	7,7	m <sup>2</sup>	A1
Carga muerta	480	kg/m	D
Carga viva	500	kg/m	L
Coeficiente de durabilidad sanitaria (flexión y corte)	1,30	-	Sa
$U = 1,3 * (1,4D + 1,7L)$	1978,600	kg/m	-

Fuente: Los Autores.

Cálculo del momento flector y la fuerza cortante a lo largo, se realizó un análisis como una viga simplemente apoyada.

$$V_u = \frac{U * (B - e)}{2}$$

$$V_u = \frac{1978,600 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * (5,50 - 0,20) \text{ m}}{2}; V_u = 5243,290 \text{ kg}$$

$$Mu = \frac{U * (B - e)^2}{8}$$

$$Mu = \frac{978,600 \frac{kg}{m} * (5,50 - 0,20)m^2}{8}; Mu = 6947,36 kg.m$$

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $d \geq d_{\min}$ )

$$Vu = 5243,290 kg$$

$$\phi Vc = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw * d_{\min}$$

$$d_{\min} = \frac{Vu}{0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw}$$

$$d_{\min} = \frac{5243,290 kg}{0,53 * 0,85 * \sqrt{240 kg/cm^2} * 100 cm}; d_{\min} = 7,51 cm$$

$$d > d_{\min}$$

$$15 cm > 7,51 cm \therefore \text{Cumple al corte}$$

Se asume una altura útil  $d=15 cm$ .

### Diseño a flexión

Determinamos  $Ru$

$$Ru = \frac{Mu}{\phi * bw * d^2}; Ru = 34,31 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0090$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 13,55 cm^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 5,00 cm^2$$

Realizamos el armado longitudinal



<b>Armado longitudinal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	7	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	14,07	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	17,0	cm	S
Configuración del acero	<b>7 Ø 16 @ 17 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 180°.

Cálculo del refuerzo transversal

$$A_{s_{transversal}} = \frac{38,4}{\sqrt{(B - e)}} * \% A_s$$

$$A_{s_{transversal}} = \frac{38,4}{\sqrt{(5,50 - ,20)}} * \% 13,55 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{transversal}} = 2,26 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado transversal

<b>Armado transversal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 180°.

Cálculo del refuerzo de temperatura y retracción de fraguado, de acuerdo a la normativa (ACI318S-11, 2011), la cuantía mínima para flexión es igual 0,0018

$$\rho_{mín} = 0,0018$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{mín}}$ )

$$A_{s_{mín}} = \rho_{mín} * bw * 15$$

$$A_{s_{mín}} = 2,7 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado superior de la losa tapa

<b>Armadura de temperatura y retracción de fraguado</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	$A_v$
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	$A_{sc}$
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 180°.

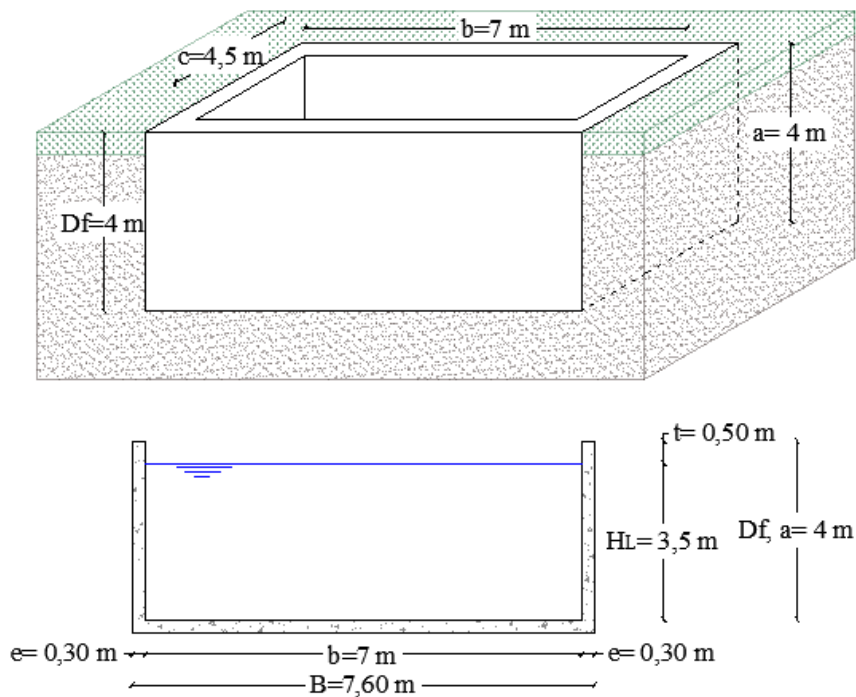
## Anexo O

*Diseño estructural del tanque.*

**Datos iniciales:**

Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Altura total del tanque	4	m	a
Base útil del tanque	4,5	m	c
Longitud útil del tanque	7	m	b
Capacidad portante del suelo	5,84	kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>adm</sub>
Peso específico del suelo	1662	kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>s</sub>
Angulo de fricción del suelo	17,5	°	Ø
Borde libre	0,5	m	t
Altura del tirante de agua	3,5	m	H <sub>L</sub>
Profundidad de desplante	4	m	D <sub>f</sub>
Resistencia a la compresión del hormigón	240	kg/cm <sup>2</sup>	f'c
Resistencia a la fluencia del acero	4200	kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>y</sub>
Densidad del agua	1000	kg/m <sup>3</sup>	γ <sub>w</sub>
Recubrimiento	5	cm	r
Espesor de los muros	0,3	m	e
Longitud total del tanque	7,6	m	B

*Fuente: Los Autores.*

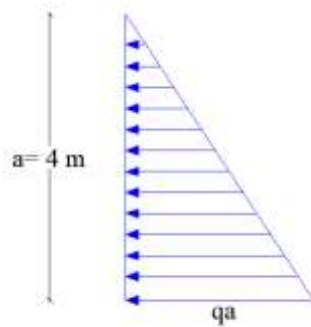


**Dimensiones del tanque de 126 m<sup>3</sup>**

*Fuente: Los Autores.*

## Cálculo de esfuerzos por el método de la PCA

Condición de carga N° 1: tanque lleno de líquido.



Esfuerzo generado por el agua

Fuente: Los Autores.

Donde:

qa: presión de agua (kg/m<sup>2</sup>)

$$qa = \gamma_w * a$$

$$qa = 1000 \frac{kg}{m^3} * 4 m$$

$$qa = 4000 \frac{kg}{m^2}$$

En el capítulo IV se mencionó que el caso que se ajusta a esta condición es el 4: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, para entrar a las tablas realizadas por la (PCA, 1998), determinamos la relación: lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a). En los casos que los valores determinados no tenían correspondencia con alguna tabla se tomó el valor superior más cercano.

$$\frac{b}{a} = \frac{7 m}{4 m} = 1,75$$

$$\frac{c}{a} = \frac{4,5 m}{4 m} = 1,125 \approx 1,25$$

Los coeficientes de corte correspondientes a este caso tanto para la relación lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a) se muestran en la siguiente tabla:

CASO 4 P.C. A			
Ubicación		Lado largo (b/a)	Lado corto (c/a)
Borde inferior	punto medio	0,39	0,36
Borde lateral	máximo	0,26	0,25
Borde lateral	punto medio	0,26	0,25
Borde superior	punto medio	0,11	0,09

Fuente: Los Autores.

Por seguridad del diseño y considerando que todos los muros serán de un espesor y recubrimiento constante, se eligió el coeficiente de corte máximo de cada relación, los mismos se ubican en el borde inferior en el punto medio con valores de Cs=0,39 y Cs=36, los

coeficientes utilizados para verificar el cortante en los bordes lateral son  $C_s=0,26$  y  $C_s=25$ , respectivamente.

Primero se calculó: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado largo (b/a):

#### Cálculo de la fuerza cortante

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior de los muros:

$$V = C_s * q_a * a; V = 6240 \text{ kg}$$

La normativa del ACI 350 recomienda mayorar la fuerza de corte calculada por un factor de seguridad (FS= 1,4), debido a las combinaciones de cargas por fluido.

$$V_U = 1,4V; V_U = 8736 \text{ kg}$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = C_s * q_a * a; V = 4160 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 4160 \text{ kg}; V_U = 5824 \text{ kg}$$

#### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por él (ACI Committee 350, 2006).

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$M_{ux} = 1,4 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. } M_x * q_a * \frac{a^2}{1000}$$

$$M_{ux} = 1,4 * 1,3 * \text{coef. } M_x * 4000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$M_{ux} = 116,48 * \text{coef. } M_x$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes  $M_x$  y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes $M_x$ (b/a= 1,75)						
$M_x$	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-2	1	3	5	7	7
0,8 a	-4	1	6	10	13	14
0,7 a	-6	2	9	15	18	19
0,6 a	-7	2	11	18	22	23
0,5 a	-7	3	12	19	23	24
0,4 a	-7	3	12	17	20	21
0,3 a	-6	3	9	12	13	13
0,2 a	-4	1	1	0	-1	-1
0,1 a	-1	-5	-13	-19	-24	-25
Borde inferior	0	-16	-36	-50	-57	-59

Fuente: (PCA, 1998).

<b>Momentos Mux (b/a= 1,75)</b>						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-232,96	116,48	349,44	582,4	815,36	815,36
0,8 a	-465,92	116,48	698,88	1164,8	1514,24	1630,72
0,7 a	-698,88	232,96	1048,32	1747,2	2096,64	2213,12
0,6 a	-815,36	232,96	1281,28	2096,64	2562,56	2679,04
0,5 a	-815,36	349,44	1397,76	2213,12	2679,04	2795,52
0,4 a	-815,36	349,44	1397,76	1980,16	2329,6	2446,08
0,3 a	-698,88	349,44	1048,32	1397,76	1514,24	1514,24
0,2 a	-465,92	116,48	116,48	0	-116,48	-116,48
0,1 a	-116,48	-582,4	-1514,24	-2213,12	-2795,52	-2912
Borde inferior	0	-1863,68	-4193,28	-5824	-6639,36	-6872,32

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux = -6872,32 \text{ Kg. m}$$

#### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,4 * coef. sanitario * coef. My * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,4 * 1,3 * coef. My * 4000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = -116,48 * coef. My$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

<b>Coefficientes My (b/a= 1,75)</b>						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-11	-2	2	3	4	4
0,8 a	-21	-4	3	6	7	7
0,7 a	-29	-5	5	8	9	9
0,6 a	-34	-6	6	10	11	11
0,5 a	-36	-5	7	10	11	11
0,4 a	-35	-4	6	9	9	9
0,3 a	-28	-3	5	7	6	6
0,2 a	-18	-1	3	3	2	2
0,1 a	-6	-1	-2	-3	-4	-4
Borde inferior	0	-3	-7	-10	-11	-12

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (b/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-1281,28	-232,96	232,96	349,44	465,92	465,92
0,8 a	-2446,08	-465,92	349,44	698,88	815,36	815,36
0,7 a	-3377,92	-582,4	582,4	931,84	1048,32	1048,32
0,6 a	-3960,32	-698,88	698,88	1164,8	1281,28	1281,28
0,5 a	-4193,28	-582,4	815,36	1164,8	1281,28	1281,28
0,4 a	-4076,8	-465,92	698,88	1048,32	1048,32	1048,32
0,3 a	-3261,44	-349,44	582,4	815,36	698,88	698,88
0,2 a	-2096,64	-116,48	349,44	349,44	232,96	232,96
0,1 a	-698,88	-116,48	-232,96	-349,44	-465,92	-465,92
Borde inferior	0	-349,44	-815,36	-1164,8	-1281,28	-1397,76

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$M_{uy} = -4193,28 \text{ Kg. m}$$

Segundo se repite el procedimiento para el cálculo de: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado corto (c/a):

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior del muro:

$$V = C_s * q_a * a$$

$$V = 0,36 * 4000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 4 \text{ m}; V = 5760 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 5760 \text{ kg}; V_U = 8064 \text{ kg}$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = C_s * q_a * a$$

$$V = 0,25 * 4000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 4 \text{ m}; V = 4000 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,4V$$

$$V_U = 1,4 * 4000 \text{ kg}; V_U = 5600 \text{ kg}$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$M_{ux} = 1,4 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. } M_x * q_a * \frac{a^2}{1000}$$

$$M_{ux} = 1,4 * 1,3 * \text{coef. } M_x * 4000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$M_{ux} = 116,48 * \text{coef. } M_x$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (c/a= 1,25)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-2	0	1	3	4	4
0,8 a	-4	0	3	6	7	8
0,7 a	-5	0	4	8	11	11
0,6 a	-6	0	6	10	13	14
0,5 a	-7	0	7	12	15	16
0,4 a	-6	1	7	12	15	16
0,3 a	-5	1	6	9	11	12
0,2 a	-4	0	2	2	2	2
0,1 a	-1	-3	-7	-11	-15	-16
Borde inferior	0	-9	-25	-36	-43	-45

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Mux (c/a= 1,75)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-232,96	0	116,48	349,44	465,92	465,92
0,8 a	-465,92	0	349,44	698,88	815,36	931,84
0,7 a	-582,4	0	465,92	931,84	1281,28	1281,28
0,6 a	-698,88	0	698,88	1164,8	1514,24	1630,72
0,5 a	-815,36	0	815,36	1397,76	1747,2	1863,68
0,4 a	-698,88	116,48	815,36	1397,76	1747,2	1863,68
0,3 a	-582,4	116,48	698,88	1048,32	1281,28	1397,76
0,2 a	-465,92	0	232,96	232,96	232,96	232,96
0,1 a	-116,48	-349,44	-815,36	-1281,28	-1747,2	-1863,68
Borde inferior	0	-1048,32	-2912	-4193,28	-5008,64	-5241,6

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux = -5241,6 \text{ Kg.m}$$

#### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,4 * coef. sanitario * coef. My * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,4 * 1,3 * coef. My * 4000 \frac{kg}{m^2} * \frac{4 m^2}{1000}$$

$$Muy = 116,48 * coef. My$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.



Coeficientes My (c/a= 1,25)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-9	-3	1	3	4	4
0,8 a	-18	-6	1	5	7	8
0,7 a	-25	-8	2	7	10	10
0,6 a	-31	-9	3	9	12	12
0,5 a	-33	-9	3	9	12	13
0,4 a	-32	-8	4	9	11	12
0,3 a	-27	-6	3	7	8	9
0,2 a	-18	-3	2	4	4	4
0,1 a	-6	-2	-1	-1	-2	-2
Borde inferior	0	-2	-5	-7	-9	-9

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (c/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-1048,32	-349,44	116,48	349,44	465,92	465,92
0,8 a	-2096,64	-698,88	116,48	582,4	815,36	931,84
0,7 a	-2912	-931,84	232,96	815,36	1164,8	1164,8
0,6 a	-3610,88	-1048,32	349,44	1048,32	1397,76	1397,76
0,5 a	-3843,84	-1048,32	349,44	1048,32	1397,76	1514,24
0,4 a	-3727,36	-931,84	465,92	1048,32	1281,28	1397,76
0,3 a	-3144,96	-698,88	349,44	815,36	931,84	1048,32
0,2 a	-2096,64	-349,44	232,96	465,92	465,92	465,92
0,1 a	-698,88	-232,96	-116,48	-116,48	-232,96	-232,96
Borde inferior	0	-232,96	-582,4	-815,36	-1048,32	-1048,32

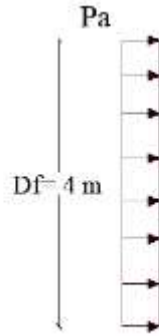
Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$Muy = -3843,84 \text{ Kg.m}$$

### Condición de carga N° 2: tanque vacío, acción del suelo.

De acuerdo al estudio de suelos realizados, predomina un estrato seco con clasificación limo orgánico arcilloso, no se evidencio la presencia del nivel freático, por tal razón el análisis se realiza para un suelo uniforme, el diagrama de presiones es un rectángulo como se muestra en la figura.



Esfuerzo uniforme generado por el suelo

Fuente: Los Autores.

$$Pa = \gamma_S * Df * ka$$

Donde:

Pa: presión del suelo ( $kg/m^2$ )

ka: coeficiente de presión lateral activa de Rankine.

$$ka = \frac{1 - \text{sen } \emptyset}{1 + \text{cos } \emptyset}; ka = 0,54$$

$$Pa = 1662 \frac{kg}{m^3} * 4 m * 0,54; Pa = 3574,14 \frac{kg}{m^2}$$

En el capítulo IV se mencionó que el caso que se ajusta a esta condición es el 9: Borde superior simplemente apoyado, bordes laterales y fondo empotrados, para entrar a las tablas realizadas por la PCA, determinamos la relación: lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a). En los casos que los valores determinados no tenían correspondencia con alguna tabla se tomó el valor superior más cercano.

$$\frac{b}{a} = \frac{7 m}{4 m} = 1,75$$

$$\frac{c}{a} = \frac{4,5 m}{4 m} = 1,125 \approx 1,25$$

Los coeficientes de corte correspondientes a este caso tanto para la relación lado largo entre la altura (b/a) y lado corto entre la altura (c/a) se muestran en la siguiente tabla:

CASO 9 P.C. A			
Ubicación		Lado largo (b/a)	Lado corto (c/a)
Borde inferior	punto medio	0,61	0,53
Borde lateral	máximo	0,56	0,53
Borde lateral	punto medio	0,54	0,52
Borde superior	punto medio	0,4	0,35

Fuente: Los Autores.

Por seguridad del diseño y considerando que todos los muros serán de un espesor y recubrimiento constante, se eligió el coeficiente de corte máximo de cada relación, los mismos se ubican en el borde inferior en el punto medio con valores de  $C_s=0,61$  y  $C_s=53$ , los coeficientes utilizados para verificar el cortante en los bordes lateral son  $C_s=0,56$  y  $C_s=53$ , respectivamente.

Primero se calculó: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado largo (b/a):

### Cálculo de la fuerza cortante

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior de los muros:

$$V = Cs * Pa * a; V = 8720,91 \text{ kg}$$

La normativa del ACI 350 recomienda mayorar la fuerza de corte calculada por un factor de seguridad (FS= 1,6), debido a las combinaciones de cargas por fluido.

$$V_U = 1,6V; V_U = 13953,45 \text{ kg}$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde lateral de los muros:

$$V = Cs * Pa * a; V = 8006,08 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,6V; V_U = 12809,73 \text{ kg}$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,6, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. } Mx * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,6 * 1,3 * \text{coef. } Mx * 3574,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Mux = 118,95 * \text{coef. } Mx$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes Mx (b/a= 1,75)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-7	6	15	22	25	26
0,8 a	-12	7	24	35	41	43
0,7 a	-15	7	28	42	50	53
0,6 a	-16	7	28	44	52	55
0,5 a	-16	6	26	40	48	51
0,4 a	-13	5	20	31	37	39
0,3 a	-10	2	11	16	18	19
0,2 a	-6	-2	-4	-7	-10	-11
0,1 a	-2	-10	-27	-41	-49	-52
Borde inferior	0	-23	-60	-87	-102	-107

Fuente: (PCA, 1998).

<b>Momentos Mux (b/a= 1,75)</b>						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-832,63	713,68	1784,21	2616,84	2973,69	3092,63
0,8 a	-1427,37	832,63	2854,74	4163,16	4876,85	5114,74
0,7 a	-1784,21	832,63	3330,53	4995,79	5947,37	6304,22
0,6 a	-1903,15	832,63	3330,53	5233,69	6185,27	6542,11
0,5 a	-1903,15	713,68	3092,63	4757,90	5709,48	6066,32
0,4 a	-1546,32	594,74	2378,95	3687,37	4401,06	4638,95
0,3 a	-1189,48	237,89	1308,42	1903,16	2141,05	2260
0,2 a	-713,68	-237,89	-475,79	-832,63	-1189,48	-1308,42
0,1 a	-237,89	-1189,48	-3211,58	-4876,85	-5828,43	-6185,27
Borde inferior	0	-2735,79	-7136,85	-10348,43	-12132,64	-12727,38

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux - 12727,38 \text{ Kg.m}$$

#### Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. My} * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,6 * 1,3 * \text{coef. My} * 3574,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 118,95 * \text{coef. My}$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

<b>Coefficientes My (b/a= 1,75)</b>						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-34	-3	7	9	10	10
0,8 a	-59	-7	11	17	18	18
0,7 a	-74	-10	14	21	23	23
0,6 a	-80	-12	14	23	25	25
0,5 a	-78	-12	14	22	23	23
0,4 a	-67	-10	12	18	19	19
0,3 a	-50	-8	8	12	12	12
0,2 a	-29	-5	3	3	3	2
0,1 a	-8	-3	-4	-7	-9	-9
Borde inferior	0	-5	-12	-17	-20	-21

Fuente: (PCA, 1998).

<b>Momentos Muy (b/a= 1,75)</b>						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	0	0	0	0	0	0
0,8 a	-4044,21	-356,84	832,63	1070,53	1189,47	1189,47
0,7 a	-7017,90	-832,63	1308,42	2022,11	2141,05	2141,05
0,6 a	-8802,11	-1189,47	1665,26	2497,90	2735,79	2735,79
0,5 a	-9515,80	-1427,37	1665,26	2735,79	2973,69	2973,69
0,4 a	-9277,90	-1427,37	1665,26	2616,84	2735,79	2735,79
0,3 a	-7969,48	-1189,47	1427,37	2141,05	2260,00	2260,00
0,2 a	-5947,37	-951,58	951,58	1427,37	1427,37	1427,37
0,1 a	-3449,48	-594,74	356,84	356,84	356,84	237,89
Borde inferior	-951,58	-356,84	-475,79	-832,63	-1070,53	-1070,53

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$Muy - 9515,80 \text{ Kg. m}$$

Segundo se repite el procedimiento para el cálculo de: la acción cortante, momentos verticales y momentos horizontales para el lado corto (c/a):

- Cálculo de la fuerza cortante en el borde inferior del muro:

$$V = Cs * Pa * a$$

$$V = 0,36 * 3574,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 4 \text{ m}; V = 7577,182 \text{ kg}$$

$$V_U = 1,6V$$

$$V_U = 1,6 * 5760 \text{ kg}; V_U = 12123,49 \text{ kg}$$

### Cálculo de los momentos verticales

La PCA expone que, para el cálculo de los momentos al igual la fuerza cortante, deben ser mayoradas por un FS=1,4, como se explicó en el pasado cálculo, adicional, se multiplicó por el coeficiente sanitario=1,3 expuesto por el ACI 350.

La expresión empleada se muestra a continuación:

$$Mux = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. Mx} * qa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1,6 * 1,3 * \text{coef. Mx} * 3574,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Mux = 118,95 * \text{coef. Mx}$$

Seguidamente se presentan la tabla de los coeficientes Mx y la tabla con los momentos resultantes.

Coeficientes Mx (c/a= 1,25)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-6	2	10	14	17	18
0,8 a	-11	2	13	22	27	29
0,7 a	-13	1	15	25	32	34
0,6 a	-14	0	15	26	33	36
0,5 a	-14	0	14	24	31	33
0,4 a	-12	0	11	20	26	27
0,3 a	-9	0	7	12	25	16
0,2 a	-6	-2	-1	-1	-2	-3
0,1 a	-2	-6	-15	-24	-30	-32
Borde inferior	0	-13	-38	-59	-73	-77

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Mux (c/a= 1,75)						
Mx	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-713,68	237,89	1189,47	1665,26	2022,11	2141,05
0,8 a	-1308,42	237,89	1546,32	2616,84	3211,58	3449,48
0,7 a	-1546,32	118,95	1784,21	2973,69	3806,32	4044,21
0,6 a	-1665,26	0	1784,21	3092,63	3925,27	4282,11
0,5 a	-1665,26	0	1665,26	2854,74	3687,37	3925,27
0,4 a	-1427,37	0	1308,42	2378,95	3092,63	3211,58
0,3 a	-1070,53	0	832,63	1427,37	2973,69	1903,16
0,2 a	-713,68	-237,89	-118,95	-118,95	-237,89	-356,84
0,1 a	-237,89	-713,68	-1784,21	-2854,74	-3568,42	-3806,32
Borde inferior	0,0	-1546,32	-4520,00	-7017,90	-8683,16	-9158,95

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Mux (-)).

$$Mux - 9158,95 \text{ Kg.m}$$

Cálculo de los momentos horizontales

$$Muy = 1,6 * \text{coeficiente sanitario} * \text{coef. My} * Pa * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1,6 * 1,3 * \text{coef. My} * 3574,14 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{4 \text{ m}^2}{1000}$$

$$Muy = 118,95 * \text{coef. My}$$

A continuación, se presentan la tabla de los coeficientes My y la tabla con lo momentos resultantes.

Coeficientes My (c/a= 1,25)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-31	-7	4	9	11	11
0,8 a	-53	-13	6	15	19	20
0,7 a	-67	-18	7	19	25	26
0,6 a	-72	-21	7	21	27	29
0,5 a	-71	-21	7	20	26	28
0,4 a	-62	-18	6	17	22	24
0,3 a	-47	-13	4	12	16	16
0,2 a	-28	-8	2	6	7	7
0,1 a	-8	-4	-2	-3	-4	-4
Borde inferior	0	-3	-8	-12	-15	-15

Fuente: (PCA, 1998).

Momentos Muy (c/a= 1,75)						
My	Esquina	0,1b	0,2b	0,3b	0,4b	0,5b
		0,9b	0,8b	0,7b	0,6b	
Borde superior	0	0	0	0	0	0
0,9 a	-3687,37	-832,63	475,79	1070,53	1308,42	1308,42
0,8 a	-6304,22	-1546,32	713,68	1784,21	2260,00	2378,95
0,7 a	-7969,48	-2141,05	832,63	2260,00	2973,69	3092,63
0,6 a	-8564,22	-2497,90	832,63	2497,90	3211,58	3449,48
0,5 a	-8445,27	-2497,90	832,63	2378,95	3092,63	3330,53
0,4 a	-7374,74	-2141,05	713,68	2022,11	2616,84	2854,74
0,3 a	-5590,53	-1546,32	475,79	1427,37	1903,16	1903,16
0,2 a	-3330,53	-951,58	237,89	713,68	832,63	832,63
0,1 a	-951,58	-475,79	-237,89	-356,84	-475,79	-475,79
Borde inferior	0	-356,84	-951,58	-1427,37	-1784,21	-1784,21

Fuente: Los Autores.

Se elige el mayor momento generado por la acción del agua (Muy (-)).

$$M_{uy} = -8564,22 \text{ Kg.m}$$

Condición de carga N° 3: fuerzas dinámicas en el tanque.

Para realizar el diseño estructural con la acción de fuerzas sísmicas, se verificó si el valor de la carga dinámica última ( $U_D$ ) es superior al valor de la carga estática última ( $U_E$ ), si se cumple esta condición se debe diseñar con la acción de las fuerzas dinámicas, caso contrario la estructura no se ve afectada por la acción de estas fuerzas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas.

#### Cálculo de las cargas dinámicas de diseño:

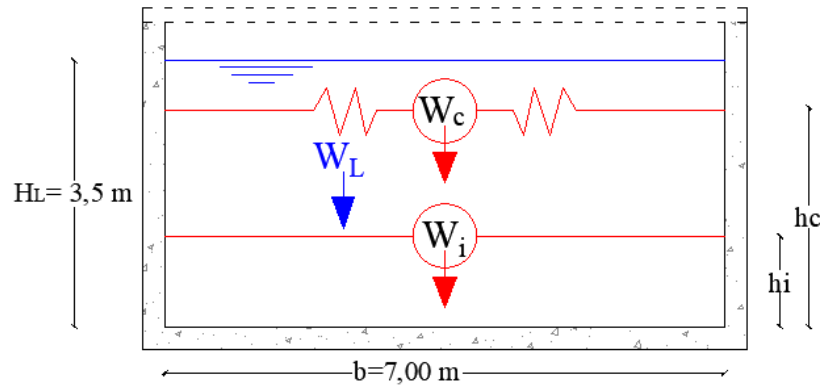
Determinamos el peso del líquido.

$$W_L = \gamma_w * H_L * b * c$$

$$W_L = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3,5 \text{ m} * 7 \text{ m} * 4,5 \text{ m}$$

$$W_L = 110250 \text{ kg}$$

Determinamos el peso de la componente impulsiva ( $W_i$ ) y componente convectiva ( $W_c$ ), dadas por las siguientes fórmulas:



### Modelo dinámico

Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016)

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{b}{H_L}\right)}{0,866 * \frac{b}{H_L}} * W_L$$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{7 \text{ m}}{3,5 \text{ m}}\right)}{0,866 * \frac{7 \text{ m}}{3,5 \text{ m}}} * 110250 \text{ kg}; W_i = 59790,372 \text{ kg}$$

$$W_c = \left[0,264 * \left(\frac{b}{H_L}\right) * \tanh\left(3,16 * \frac{H_L}{b}\right)\right] * W_L$$

$$W_c = \left[0,264 * \left(\frac{7 \text{ m}}{3,5 \text{ m}}\right) * \tanh\left(3,16 * \frac{3,5 \text{ m}}{7 \text{ m}}\right)\right] * 110250 \text{ kg}; W_c = 53473,653 \text{ kg}$$

Para determinar las solicitaciones sísmicas se utilizó la norma (NEC - SE - DS , 2015); a continuación, se muestra la ecuación establecida para el cálculo de la fuerza producida por masa impulsiva ( $P_i$ ) y la fuerza producida por masa convectiva ( $P_c$ ) y a través de una tabla se presentan los parámetros que intervienen en las ecuaciones.

$$P_i = \frac{I S_a(T_a)}{R_i \phi_p \phi_E} W_i ; P_c = \frac{I S_a(T_a)}{R_c \phi_p \phi_E} W_c$$

Donde:

$P_i$ : fuerza producida por masa impulsiva (kg).

$P_c$ : fuerza producida por masa convectiva (kg).

$I$ : coeficiente de importancia.

$S_a(T_a)$ : espectro de diseño en aceleración.

$R_i$ : factor de reducción de respuesta (impulsiva).

$R_c$ : factor de reducción de respuesta (convectiva).

$\phi_p - \phi_E$  : coeficientes de configuración en planta y elevación.

$W_i$ : peso de la componente impulsiva.

$W_c$ : peso de la componente convectiva



Ta: período de vibración.

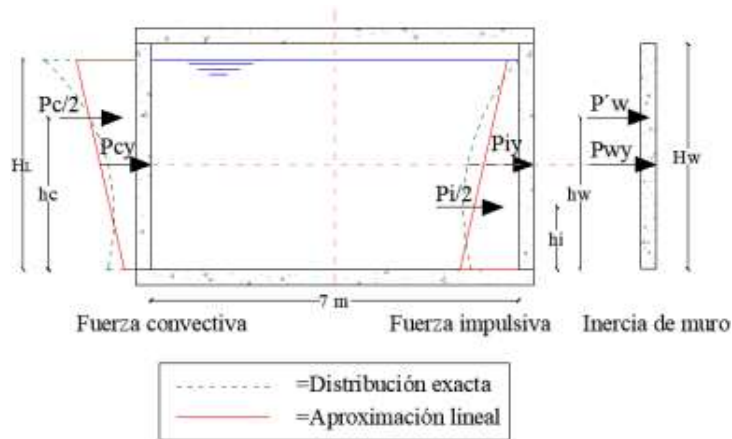
Determinación de las fuerzas dinámicas			
Parámetro	Valor	Unidad	Variable
Factor de importancia	1,25	u	I
Factor de reducción de respuesta (impulsiva)	2,5	u	Ri
Factor de reducción de respuesta (convectiva)	1	u	Rc
Zonificación Sísmica	V		
Región del Ecuador	Sierra		
Factor de aceleración de la zona	0,35	u	Z
Relación de amplificación espectral	2,48	u	n
Coefficiente Ct	0,055	u	Ct
Altura total del elemento	4,0	m	hn
Coefficiente para cálculo de periodo	0,9	u	$\alpha$
Tipo de Suelo	E		
Factor de sitio Fa	1	u	Fa
Factor de sitio Fd	1,6	u	Fd
Factor de comportan. inelástico suelo	1,9	u	Fs
Factor asociado al periodo de retorno	1,5	u	r
Factor de irregularidad en planta	1	u	$\phi_p$
Factor de irregularidad en elevación	1	u	$\phi_e$
Aceleración de la gravedad	9,81	m/s <sup>2</sup>	g
Período teórico método 1	0,19	s	T1
Período teórico método 1 mayorado	0,25	s	T2
Periodo Límite en T=To	0,30	s	To
Periodo Límite en T=Tc	1,67	s	Tc
Periodo Límite en T=TL	3,84	s	TL
Aceleración en T=0	0,35	g	Sa
Aceleración en T=To	0,87	g	Sao
% de reducción de respuesta	0,400	u	f

Fuente: Los Autores.

$$P_i = \frac{1,25 * 0,87 \text{ g} * 0,19 \text{ s}}{2,5 * 1 * 1} * 59790,372 \text{ kg}; P_i = 4969,786 \text{ kg}$$

$$P_c = \frac{1,25 * 0,87 \text{ g} * 0,19 \text{ s}}{2,5 * 1 * 1} * 53473,653 \text{ kg}; P_c = 11111,848 \text{ kg}$$

Cálculo de la presión hidrodinámica total (Py) en la base del tanque con la siguiente ecuación:



Fuente: (Orihuela Canchari & Sánchez Arévalo, 2016).

$$P_y = \sqrt{(P_{iy} + P_{wy})^2 + P_{cy}^2 + P_{vy}^2}$$

Donde:

$P_y$ : presión hidrodinámica total ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{iy}$ : presión dinámica impulsiva unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{wy}$ : fuerza de inercia unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{cy}$ : presión dinámica convectiva unitaria ( $\text{kg/m}^2$ ).

$P_{vy}$ : presión hidrodinámica por efecto de la aceleración vertical ( $\text{kg/m}^2$ ).

Determinamos la presión dinámica convectiva unitaria ( $P_{cy}$ ):

$$P_{cy} = \frac{0,5P_c * \left[ 4H_L - 6hc - (6H_L - 12hc) * \left( \frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

Donde:

$hc$ : altura de la componente convectiva (m).

$y$ : distancia vertical al centro del líquido (m).

$$hc = H_L * \left[ 1 - \frac{\cosh \left[ 3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \right] - 1}{3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \sinh \left[ 3,16 * \left( \frac{H_L}{b} \right) \right]} \right]$$

$$hc = 4 \text{ m} * \left[ 1 - \frac{\cosh \left[ 3,16 * \left( \frac{3,5 \text{ m}}{7 \text{ m}} \right) \right] - 1}{3,16 * \left( \frac{3,5 \text{ m}}{7 \text{ m}} \right) \sinh \left[ 3,16 * \left( \frac{3,5 \text{ m}}{7 \text{ m}} \right) \right]} \right]; hc = 1,492 \text{ m}$$

$$P_{cy} = \frac{0,5 * 11111,848 \text{ kg} * \left[ 4 * 3,5 \text{ m} - 6 * 1,492 \text{ m} - (6 * 3,5 \text{ m} - 12 * 1,492 \text{ m}) * \left( \frac{2 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} \right) \right]}{4 \text{ m}^2}$$

$$P_{cy} = 1587,407 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{c(y=0)} = \frac{P_{cy}}{c}$$

$$P_{c(y=0)} = \frac{1587,407 \frac{kg}{m}}{4,5 m}; P_{c(y=0)} = 352,757 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la presión dinámica convectiva unitaria ( $P_{iy}$ ):

$$P_{iy} = \frac{0,5P_i * \left[ 4H_L - 6hc - (6H_L - 12hc) * \left( \frac{y}{H_L} \right) \right]}{H_L^2}$$

$$P_{iy} = \frac{0,5 * 4969,786 kg * \left[ 4 * 3,5 m - 6 * 1,492 m - (6 * 3,5 m - 12 * 1,492 m) * \left( \frac{2 m}{3,5 m} \right) \right]}{4 m^2}$$

$$P_{iy} = 709,969 \frac{kg}{m}$$

$$p_{i(y=0)} = \frac{P_{iy}}{c}$$

$$p_{i(y=0)} = \frac{709,969 \frac{kg}{m}}{4,5 m}; p_{i(y=0)} = 157,771 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la fuerza de inercia unitaria ( $P_{wy}$ ):

$$P_{wy} = \frac{IS_a(T_a)}{Ri\phi_P\phi_E} * \frac{\varepsilon * \gamma h * c * e}{12}$$

Donde:

$\varepsilon$ : coeficiente de la masa efectiva  $\leq 1$ .

$\gamma h$ : peso específico del hormigón ( $kg/m^3$ ).

$e$ : espesor de los muros (m).

$$\varepsilon = \left[ 0,0151 * \left( \frac{b}{H_L} \right)^2 - 0,1908 * \left( \frac{b}{H_L} \right) + 1,021 \right] \leq 1$$

$$\varepsilon = \left[ 0,0151 * \left( \frac{7 m}{3,5 m} \right)^2 - 0,1908 * \left( \frac{7 m}{3,5 m} \right) + 1,021 \right] \leq 1$$

$$\varepsilon = 0,70 \leq 1$$

$$P_{wy} = \frac{1,25 * 0,87 g * 0,19 s}{2,5 * 1 * 1} * \frac{0,70 * 2400 \frac{kg}{m^3} * 4,5 m * 0,30 m}{12}$$

$$P_{wy} = 15,705 \frac{kg}{m}$$

$$p_{wy} = \frac{P_{wy}}{c}$$

$$p_{wy} = \frac{15,705 \frac{kg}{m}}{4,5 m}; p_{wy} = 3,490 \frac{kg}{m^2}$$

Determinamos la presión hidrodinámica por efecto de la aceleración vertical ( $P_{vy}$ ):

$$p_{vy} = \ddot{u}_v * q_{hy}$$

Donde:

$\ddot{u}_v$ : aceleración espectral vertical.

$q_{hy}$ : presión hidrostática ( $kg/m^2$ ).

Cálculo de la aceleración espectral vertical ( $\ddot{u}_v$ ):

$$\ddot{u}_v = 0,4S_{Ds} * \frac{2/3}{Ri} \geq 0,2S_{Ds}$$

Donde:

$$C_t = 0,4S_{Ds} \text{ Para tanques rectangulares}$$

$$\ddot{u}_v = 0,055 * \frac{2/3}{2,5} \geq 0,2S_{Ds}$$

$$\ddot{u}_v = 0,015 \geq 0,0275$$

Cálculo de la presión hidrostática ( $q_{hy}$ ):

$$q_{hy} = \gamma_w * (H_L - y)$$

$$q_{hy} = 1000 \frac{kg}{m^3} * (3,5 m - 2m)$$

$$q_{hy} = 1750 \frac{kg}{m^2}$$

Por lo tanto:

$$p_{vy} = 0,015 * 1750 \frac{kg}{m^2}; p_{vy} = 25,667 \frac{kg}{m^2}$$

Con las presiones determinadas y la fuerza de inercia unitaria, calculamos la presión hidrodinámica ( $P_y$ ):

$$P_y = \sqrt{(P_{iy} + P_{wy})^2 + P_{cy}^2 + P_{vy}^2}$$

$$P_y = \sqrt{\left(157,771 \frac{kg}{m^2} + 3,490 \frac{kg}{m^2}\right)^2 + \left(352,757 \frac{kg}{m^2}\right)^2 + \left(25,667 \frac{kg}{m^2}\right)^2}$$

$$P_y = 388,72 \frac{kg}{m^2}$$

Calculamos las cargas últimas, con las dos combinaciones para las diferentes cargas, con las siguientes expresiones y verificamos si es necesario el diseño del tanque con la acción de fuerzas sísmicas o fuerzas estáticas.

Acción de fuerzas estáticas:

$$U_E = 2,7WL$$

$$U_E = 2,7 * \left( 1000 \frac{kg}{m^3} * 4 m \right)$$

$$U_E = 6800 \frac{kg}{m^2}$$

Acción de fuerzas estáticas y fuerzas dinámicas:

$$U_D = 1,2WL + 1E$$

$$U_D = 1,2 * \left( 1000 \frac{kg}{m^3} * 4 m \right) + 388,72 \frac{kg}{m^2}$$

$$U_D = 5188,72 \frac{kg}{m^2}$$

$$U_E > U_D$$

La estructura no se ve afectada por la acción de las fuerzas sísmicas, por lo tanto, para el diseño se considera únicamente la acción de las fuerzas estáticas.

### Momentos de diseño

Después del análisis realizado para las 3 condiciones de carga y la verificación realizada en la condición N° 3, a continuación, se resumen en una tabla los valores de los momentos de diseño obtenidos de la condición N° 1 y de la condición N° 2.

<b>Condición N° 1: momentos producidos por la carga lateral del agua</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
Mux (-) Lado largo	-6872,32	kg.m
Mux (-) Lado corto	-5241,6	kg.m
Muy (-) Lado largo	-4193,28	kg.m
Muy (-) Lado corto	-3843,84	kg.m

*Fuente: Los Autores.*

<b>Condición N° 2: momentos producidos por la carga lateral uniforme del suelo</b>		
Parámetro	Valor	Unidad
Mux (+) Lado largo	12727,38	kg.m
Mux (+) Lado corto	9158,95	kg.m
Muy (+) Lado largo	9515,80	kg.m
Muy (+) Lado corto	8564,22	kg.m

*Fuente: Los Autores.*

Diseño de los elementos del tanque de 126 m<sup>3</sup>

Para el diseño se utilizó la normativa (NEC-SE-HM, 2015) y (ACI 350.3-01, 2007).

### Diseño de los muros

De acuerdo (ACI 350-06) el espesor mínimo de los muros de un tanque que contengan líquidos con un altura igual o superior a los 3 m debe ser 30 cm.

### Diseño de los muros largos

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

El cortante mayorado ( $V_u$ ) resulta del cálculo realizado para la condición N° 2.

$$Vu = 13953,45 \text{ kg}$$

$$\phi Vc = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Donde:

Vc: capacidad resistente del hormigón (kg).

$\phi$ : factor de reducción.

f'c: resistencia a la compresión del hormigón (kg/cm<sup>2</sup>).

bw: ancho unitario (m).

d: altura efectiva (m).

$$\phi Vc = 0,53 * 0,85 * \sqrt{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * (30 - 5) \text{ cm}$$

$$\phi Vc = 17447,70 \text{ kg}$$

$$\phi Vc > Vu$$

$$17447,70 \text{ kg} > 13953,45 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación al cortante en los bordes laterales del lado largo del tanque ( $Vc \geq Vu$ )

$$Vu = 12809,73 \text{ kg}$$

$$\phi Vc = 0,53 * \phi * \left(1 + \frac{Nu}{35 * Ag}\right) * \sqrt{f'c} * bw * d$$

Donde:

Nu: cortante mayorado del muro corto (kg). Por seguridad del diseño se consideran tracciones que pueden producirse en muros continuos.

Ag: Área unitaria (cm<sup>2</sup>).

$$Nu = 12123,49 \text{ kg}$$

$$\phi Vc = 0,53 * 0,85 * \left(1 + \frac{12123,49 \text{ kg}}{35 * (100 \text{ cm} * 30 \text{ cm})}\right) * \sqrt{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 100 \text{ cm} * (30 - 5) \text{ cm}$$

$$\phi Vc = 19462,34 \text{ kg}$$

$$\phi Vc > Vu$$

$$19462,34 \text{ kg} > 12809,73 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación a flexión

Diseño de la cara interna de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral del agua.

$$Mux (-) \text{Lado largo} = -6872,32 \text{ kg.m}$$

$$Muy (-) \text{Lado largo} = -4193,28 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara interna)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\phi * bw * d^2}$$

Donde:

$\phi$ : factor de reducción de resistencia del hormigón

$$Ru = \frac{6872,32 \text{ kg} \cdot \text{m} * 1000}{0,9 * 100 \text{ cm} * 25 \text{ cm}^2}; Ru = 12,22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right)$$
$$\rho = 0,85 * \left(\frac{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * 12,22 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{240 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}\right); \rho = 0,0030$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$As = \rho * bw * d$$

$$As = 0,0030 * 100 \text{ cm} * 25 \text{ cm}; As = 7,53 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}$$

$$\rho_{\min} = \frac{14}{4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d$$

$$As_{\min} = 0,0033 * 100 \text{ cm} * 25 \text{ cm}; As_{\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

Armado de la cara interna de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	14	mm	$\phi$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	9,24	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 <math>\phi</math> 14 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara interna)

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\emptyset * b_w * d^2}; R_u = 7,45 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0018$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d; A_s = 4,54 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$A_{s\min} = \rho_{\min} * b_w * d; A_{s\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{s\text{tracción}}$ )

$$A_{s\text{tracción}} = \frac{S_d * N_u}{\emptyset * f_y}$$

Donde:

$S_d$ : coeficiente de durabilidad ambiental.

$N_u$ : carga axial mayor (lado corto) (kg).

$\emptyset$ : factor de reducción de resistencia del hormigón.

$$A_{s\text{tracción}} = \frac{1,65 * 12123,49 \text{ kg}}{0,9 * 4200 \frac{kg}{cm^2}}; A_{s\text{tracción}} = 5,292 \text{ cm}^2$$



El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$A_s = A_{s_{\min}} + \frac{A_{s_{\text{tracción}}}}{2}; A_s = 10,98 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	12,06	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 Ø 16 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

Diseño de la cara externa de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral uniforme del suelo

$$M_{ux} (-) \text{Lado largo} = -12727,38 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} (-) \text{Lado largo} = -9515,80 \text{ kg.m}$$

#### **Cálculo de los refuerzos verticales (cara externa)**

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\phi * b_w * d^2}; R_u = 22,63 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0057$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 14,36 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	8	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	16,08	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	15,0	cm	S
Configuración del acero	<b>8 Ø 16 @ 15 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

**Cálculo de los refuerzos horizontales (cara externa)**

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 16,92 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{fy} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}} \right); \rho = 0,0042$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 10,56 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s_{\min}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{s_{\text{tracción}}}$ )

$$A_{s_{\text{tracción}}} = \frac{S_d * Nu}{\phi * f_y}; A_{s_{\text{tracción}}} = 5,292 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$A_s = A_{s_{\text{flexión}}} + \frac{A_{s_{\text{tracción}}}}{2}; A_s = 13,20 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

<b>Armado de la cara externa de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	7	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	14,07	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	17,0	cm	S
Configuración del acero	<b>7 Ø 16 @ 17 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de los muros cortos

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

El cortante mayorado ( $V_u$ ) resulta del cálculo realizado para la condición N° 2.

$$V_u = 12123,491 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * bw * d; \phi V_c = 17447,79 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$17447,79 \text{ kg} > 12123,491 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación al cortante en los bordes laterales del lado largo del tanque ( $V_c \geq V_u$ )

$$V_u = 12123,491 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \left(1 + \frac{Nu}{35 * Ag}\right) * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$Nu = 12809,73 \text{ kg}$$

$$\phi V_c = 19576,37 \text{ kg}$$

$$\phi V_c > V_u$$

$$19576,37 \text{ kg} > 12123,491 \text{ kg} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Realizamos verificación a flexión

Diseño de la cara interna de los muros cortos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral del agua.

$$M_{ux} (-) \text{Lado corto} = -5241,60 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} (-) \text{Lado corto} = -3843,84 \text{ kg.m}$$

#### **Cálculo de los refuerzos verticales (cara interna)**

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\emptyset * bw * d^2}; R_u = 9,32 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{f_y}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}}\right); \rho = 0,0023$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 5,70 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s_{\min}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

<b>Armado de la cara interna de los muros</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	9,24	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 Ø 14 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara interna)

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_{ux}}{\phi * b_w * d^2}; R_u = 6,83 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{fy} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'c}} \right); \rho = 0,0017$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d; A_s = 4,15 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * b_w * d; A_{s_{\min}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $A_{s_{\text{tracción}}}$ )

$$A_{stracción} = \frac{S_d * Nu}{\phi * f_y}$$

Donde:

$S_d$ : coeficiente de durabilidad ambiental.

$N_u$ : carga axial mayor (lado corto) (kg).

$\phi$ : factor de reducción de resistencia del hormigón.

$$A_{stracción} = \frac{1,65 * 12809,73 \text{ kg}}{0,9 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}; A_{stracción} = 5,592 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$A_s = A_{s_{\min}} + \frac{A_{stracción}}{2}; A_s = 11,13 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara interna de los muros

Armado de la cara interna de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	16	mm	$\phi$
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	$A_v$
Área del acero colocado	12,06	cm <sup>2</sup>	$A_{sc}$
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 <math>\phi</math> 16 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

Diseño de la cara externa de los muros largos del tanque, ocupamos los momentos de diseño producidos por la carga lateral uniforme del suelo

$$M_{ux} (-) \text{Lado corto} = -9158,95 \text{ kg.m}$$

$$M_{uy} (-) \text{Lado corto} = -8564,217 \text{ kg.m}$$

### Cálculo de los refuerzos verticales (cara externa)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 16,28 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0041$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 10,14 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	7	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	10,78	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	17,0	cm	S
Configuración del acero	<b>7 <math>\emptyset</math> 14 @ 17 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo de los refuerzos horizontales (cara externa)

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 15,23 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'c}{fy}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}}\right); \rho = 0,0038$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 9,46 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{fy}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\text{mín}}$ )

$$As_{\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; As_{\text{mín}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Calculamos acero para la tracción axial ( $As_{\text{tracción}}$ )

$$As_{\text{tracción}} = \frac{S_d * Nu}{\emptyset * fy}$$

Donde:

$S_d$ : coeficiente de durabilidad ambiental.

$Nu$ : carga axial mayor (lado corto) (kg).

$\emptyset$ : factor de reducción de resistencia del hormigón.

$$As_{\text{tracción}} = 5,592 \text{ cm}^2$$

El acero para la tracción axial fue distribuido en ambas caras de los muros, por esta razón la cantidad de acero requerido para las caras exteriores se determina con a siguiente expresión:

$$As = As_{\text{flexión}} + \frac{As_{\text{tracción}}}{2}$$

$$As = 12,25 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado de la cara externa de los muros

Armado de la cara externa de los muros			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	8	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	$Av$
Área del acero colocado	12,32	cm <sup>2</sup>	$Asc$
Separación	15,0	cm	S
Configuración del acero	<b>8 <math>\emptyset</math> 14 @ 15 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.



$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
(Cb+Ktr)/ $d_b$	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de la losa de fondo

Se asumió un espesor de la losa  $e=30$  cm y un recubrimiento de 5 cm.

### Momentos de diseño

Se tomo los valores de los momentos obtenidos de la condición N° 2.

<b>Cara inferior, momentos máximos que está en contacto con el suelo</b>		
Mux (inferior Ll)	12727,38	kg.m
Mux (inferior Lc)	9158,95	kg.m

Fuente: Los Autores.

<b>Cara superior, momentos máximos que está en contacto con el agua</b>		
Mux (superior Ll)	6872,32	kg.m
Mux (superior Lc)	5241,60	kg.m

Fuente: Los Autores.

### Cálculo del refuerzo inferior longitudinal

$$Mux (\text{inferior Ll}) = 12727,38 \text{ kg.m}$$

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 22,63 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{f_y} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}} \right); \rho = 0,0057$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * bw * d; A_s = 14,36 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$A_{s\min} = \rho_{\min} * bw * d; A_{s\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo inferior longitudinal

<b>Armado del refuerzo inferior longitudinal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	8	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	16,08	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	15,0	cm	S
Configuración del acero	<b>8 Ø 16 @ 15 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo inferior transversal

$$Mux \text{ (inferior Ll)} = 9158,95 \text{ kg.m}$$

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 16,28 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{fy} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}} \right); \rho = 0,0041$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 10,14 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\min}$ )

$$\rho_{\min} = \frac{14}{fy}; \rho_{\min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s\min}$ )

$$As_{\min} = \rho_{\min} * bw * d; As_{\min} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo inferior transversal

<b>Armado del refuerzo inferior transversal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	16	mm	Ø
Área del acero	2,01	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	12,06	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 Ø 16 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	31,55	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 35 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo superior longitudinal

$$Mux \text{ (inferior Ll)} = 6872,32 \text{ kg.m}$$

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 12,22 \frac{kg}{cm^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{fy} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}} \right); \rho = 0,0030$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 7,53 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{mín}$ )

$$\rho_{mín} = \frac{14}{fy}; \rho_{mín} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{mín}}$ )

$$As_{mín} = \rho_{mín} * bw * d; As_{mín} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo superior longitudinal

<b>Armado del refuerzo superior longitudinal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	9,24	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 Ø 14 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Cálculo del refuerzo superior transversal

$$Mux (\text{inferior } Lc) = 5241,60 \text{ kg.m}$$

Determinamos Ru

$$Ru = \frac{Mux}{\emptyset * bw * d^2}; Ru = 9,32 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left( \frac{f'c}{fy} \right) * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * Ru}{f'c}} \right); \rho = 0,0023$$

Calculamos acero requerido ( $As$ )

$$As = \rho * bw * d; As = 5,70 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{\text{mín}}$ )

$$\rho_{\text{mín}} = \frac{14}{fy}; \rho_{\text{mín}} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $As_{\text{mín}}$ )

$$As_{\text{mín}} = \rho_{\text{mín}} * bw * d; As_{\text{mín}} = 8,33 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado del refuerzo superior transversal

Armado del refuerzo superior transversal			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	6	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	9,24	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	19,0	cm	S
Configuración del acero	<b>6 Ø 14 @ 19 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

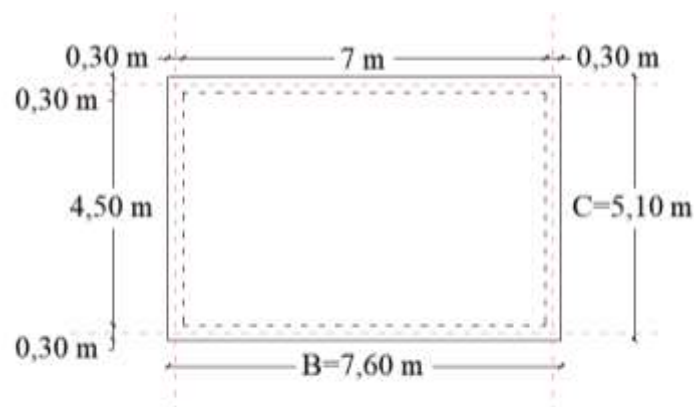
$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

Cálculo longitud de desarrollo			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1		$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1		$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8		$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,6	cm	$d_b$
( $C_b + K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5		-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 90°.

### Diseño de la tapa losa



Vista en planta de la losa tapa

Fuente: Los Autores.

Cálculo del espesor de losa

$$e = \frac{\text{perímetro}}{150}$$

$$e = \frac{(4,9 + 7,6 + 4,9 + 7,6) m}{150} = 0,17 m$$

Se asumió un espesor de 20 cm y un recubrimiento de 5 cm.

### Datos iniciales:

Se manejó el coeficiente de durabilidad ambiental dado en la (ACI 350.3-01, 2007), para evitar el agrietamiento en condiciones de servicio.

Los valores de momento y cortante utilizados para el diseño fueron multiplicados por el coeficiente de durabilidad ambiental  $S_d = 1,3$  (flexión y corte)

Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Base total del tanque	5,1	m	C
Longitud total del tanque	7,6	m	B
Espesor de la losa tapa calculada	0,17	m	e
Espesor de la losa tapa asumida	0,2	m	e,asum
Peso específico del hormigón armado	2400	kg/m <sup>3</sup>	$\gamma_h$
Área de apoyo de la losa de cubierta	38,76	m <sup>2</sup>	A <sub>l</sub>
Carga muerta	480	kg/m	D
Carga viva	500	kg/m	V
Coeficiente de durabilidad sanitaria (flexión corte)	1,30	-	S <sub>a</sub>
$U = 1.3 * (1.4D + 1.7L)$	1978,600	kg/m	-

Fuente: Los Autores.

Cálculo del momento flector y la fuerza cortante a lo largo, se realizó un análisis como una viga simplemente apoyada.

$$V_u = \frac{U * (B - e)}{2}$$

$$V_u = \frac{1978,600 \frac{kg}{m} * (7,6 - 0,30)m}{2}; V_u = 7221,89 kg$$

$$M_u = \frac{U * (B - e)^2}{8}$$

$$M_u = \frac{1978,600 \frac{kg}{m} * (7,6 - 0,30) m^2}{8}; M_u = 13179,95 kg.m$$

Realizamos verificación al cortante en la parte inferior del lado largo del tanque ( $d \geq d_{\min}$ )

$$V_u = 7221,89 kg$$

$$\phi V_c = 0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * b_w * d_{\min}$$

$$d_{\min} = \frac{V_u}{0,53 * \phi * \sqrt{f'c} * b_w}$$

$$d_{\min} = \frac{7221,89 kg}{0,53 * 0,85 * \sqrt{240 kg/cm^2} * 100 cm}; d_{\min} = 10,35 cm$$

$$d > d_{min}$$

$$15 \text{ cm} > 10,35 \text{ cm} \therefore \text{Cumple al corte}$$

Se asume una altura útil  $d=15 \text{ cm}$ .

### Diseño a flexión

Determinamos  $R_u$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b_w * d^2}; R_u = 65,09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Determinamos la cuantía necesaria en la sección ( $\rho$ )

$$\rho = 0,85 * \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,36 * R_u}{f'_c}}\right); \rho = 0,0194$$

Calculamos acero requerido ( $A_s$ )

$$A_s = \rho * b_w * d; A_s = 29,14 \text{ cm}^2$$

Determinamos la cuantía mínima necesaria en la sección ( $\rho_{min}$ )

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y}; \rho_{min} = 0,0033$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{smin}$ )

$$A_{smin} = \rho_{min} * b_w * d; A_{smin} = 5,00 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado longitudinal

Armado longitudinal			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	8	u	-
Diámetro	22	mm	$\phi$
Área del acero	3,80	$\text{cm}^2$	$A_v$
Área del acero colocado	30,41	$\text{cm}^2$	$A_{sc}$
Separación	15,0	cm	S
Configuración del acero	<b>8 <math>\phi</math> 22 @ 15 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	2,2	cm	$d_b$
( $C_b+K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	43,38	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 45 cm en forma de gancho de 180°.

Cálculo del refuerzo transversal

$$A_{s_{transversal}} = \frac{38,4}{\sqrt{(B - e)}} * \% A_s$$

$$A_{s_{transversal}} = \frac{38,4}{\sqrt{(5,50 - ,30)}} * \% 29,14 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{transversal}} = 4,14 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado transversal

<b>Armado transversal</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	$\emptyset$
Área del acero	1,54	$\text{cm}^2$	$A_v$
Área del acero colocado	7,70	$\text{cm}^2$	$A_{sc}$
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 <math>\emptyset</math> 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014), capítulo 25.

$$l_d = \frac{f_y}{4,4 * \sqrt{f'_c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	$d_b$
( $C_b+K_{tr}$ )/ $d_b$	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	$l_d$

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 180°.

Cálculo del refuerzo de temperatura y retracción de fraguado, de acuerdo a la normativa (ACI318S-11, 2011), la cuantía mínima para flexión es igual 0,0018



$$\rho_{\min} = 0,0018$$

Calculamos acero mínimo ( $A_{s_{\min}}$ )

$$A_{s_{\min}} = \rho_{\min} * bw * 15; A_{s_{\min}} = 2,7 \text{ cm}^2$$

Realizamos el armado superior de la losa tapa

<b>Armado de temperatura y retracción de fraguado</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
# de varillas	5	u	-
Diámetro	14	mm	Ø
Área del acero	1,54	cm <sup>2</sup>	Av
Área del acero colocado	7,70	cm <sup>2</sup>	Asc
Separación	25,0	cm	S
Configuración del acero	<b>5 Ø 14 @ 25 cm</b>		

Fuente: Los Autores.

Cálculo de la longitud de desarrollo para barras corrugadas en tracción ( $l_d$ ), de acuerdo a la normativa (ACI 318S-14, 2014) ,capítulo 25.

$$l_d = \frac{fy}{4,4 * \sqrt{f'c}} * \frac{\psi_e * \psi_t * \psi_s}{\left[ \frac{c + K_{tr}}{d_b} \right]} * d_b$$

<b>Cálculo longitud de desarrollo</b>			
Parámetro	Valor	Unidad	Símbolo
Factor de modificación ( $\psi_e$ )	1	-	$\psi_e$
Factor de modificación ( $\psi_t$ )	1	-	$\psi_t$
Factor de modificación ( $\psi_s$ )	0,8	-	$\psi_s$
Diámetro de la varilla	1,4	cm	db
(Cb+Ktr)/db	2,5	-	-
Longitud de desarrollo calculada	27,60	cm	ld

Fuente: Los Autores.

La longitud de desarrollo colocada es de 30 cm en forma de gancho de 180°.

## Anexo P

### Presupuesto de obra.

N°	Rubro	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
<b>Captación</b>					
1	Limpieza manual del terreno	m2	3,07	38,19	117,10
2	Replanteo y nivelación	m2	1,70	38,19	64,81
3	Excavación a mano con presencia de agua	m3	11,03	6,83	75,32
4	Hormigón simple f'c=240 Kg/cm2, para muros incluye encontrados/desencofrados	m3	153,45	2,85	437,33
5	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm2	kg	6,07	757,1	4594,92
6	Enlucido exterior 1:3	m2	15,92	17,52	278,97
7	Enlucido interior con impermeabilización 1:2 para piso y pared	u	10,37	11,03	114,40
8	Tubería PVC Ø 50 mm - L = 6m - 1MPa, incluye (MAT/TRANS/INST)	m	3,42	19,23	65,78
9	Codo PVC Ø 50 mm - 90°	u	4,11	4	16,42
10	Válvula de compuerta Ø 50 mm	u	108,82	1	108,82
11	Tee PVC Ø 50 mm	kg	5,02	2	10,03
12	Tapa sanitaria de tool 70x70 cm (incluye ángulo y seguridad)	u	98,25	4	393,01
13	Candado tipo Barril	u	80,13	4	320,51
<b>Línea de aducción</b>					
14	Replanteo y nivelación longitudinal	m	8,47	1865,92	15805,79
15	Excavación de zanja en tierra a mano h = 0,80 m	m3	10,92	746,37	8151,35
16	Relleno compactado con material de excavación capas de 20 cm	m3	1,63	653,07	1067,12
17	Cama de arena e = 5 mm	m3	0,65	4,66	3,05
18	Tubería PVC Ø 75 mm - L = 6m - 1MPa, incluye (MAT/TRANS/INST)	m	5,89	1512	8912,32
19	Tubería PVC Ø 90 mm - L = 6m - 1MPa, incluye (MAT/TRANS/INST)	m	8,73	354	3088,70
20	Unión universal PVC Ø 90 mm	u	6,17	46	283,74
21	Unión universal PVC Ø 75 mm	u	6,17	181	1116,47
22	Codo PVC Ø 75 mm - 90°	u	6,89	2	13,78
23	Codo PVC Ø 75 mm - 45°	u	6,35	63	399,94
24	Codo PVC Ø 90 mm - 90°	u	9,61	1	9,61
25	Codo PVC Ø 90 mm - 45°	u	9,56	10	95,64
<b>Cruce aéreo</b>					
26	Desbroce y limpieza manual del terreno	m2	1,13	22,5	25,43
27	Replanteo y nivelación	m2	1,70	22,5	38,18
28	Excavación manual de cimentaciones h = 1 m	m3	3,29	2,88	9,46
29	Relleno compactado con material de excavación capas de 20 cm	m3	1,63	1,584	2,59
30	Hormigón simple f'c=180 kg/cm2, para replantillo e= 5cm	m3	68,08	0,144	9,80
31	Hormigón simple f'c= 210 Kg/cm2 para cimentaciones, incluye encofrado/desencofrado	m3	165,25	1,472	243,25
32	Hormigón simple f'c= 210 Kg/cm2 para columnas, incluye encofrado/desencofrado	m3	165,25	0,736	121,63
33	Hormigón simple f'c= 210 Kg/cm2 para anclajes, incluye encofrado/desencofrado	m3	165,25	2	330,50
34	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm	kg	6,07	150,83	915,40
35	Varillas de anclaje: 2 Ø 50 mm - L = 3 m, incluye placa, tuercas y arandela	u	101,86	2	203,71
36	Montaje de cable principales de acero de 1/2"	m	50,92	25	1272,92
37	Montaje de la péndola 1/2", incluye accesorios	m	50,92	14,50	738,29
38	Gálapago	u	644,58	2	1289,15
39	Abrazadera péndola - cable principal	u	68,00	14	952,02
<b>Cámara rompe presión</b>					
40	Desbroce y limpieza manual del terreno	m2	1,13	5	5,65
41	Replanteo y nivelación	m2	1,70	5	8,48
42	Excavación manual y desalojo h = 1 a 1.20 m	m3	4,83	7	33,84
43	Relleno compactado con material de excavación capas de 20 cm	m3	1,63	0,88	1,44
44	Hormigón simple f'c=180 kg/cm2, para replantillo e= 5cm	m3	68,08	0,16	10,89
45	Hormigón simple f'c= 240 Kg/cm2 para cimentación, incluye encofrado/desencofrado	m3	147,80	0,96	141,89
46	Hormigón simple f'c= 240 Kg/cm2 para muros, incluye encofrado/desencofrado	m3	147,80	3,52	520,25
47	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm	kg	6,07	654,75	3973,75
48	Enlucido exterior 1:3	m2	15,92	17,6	280,25
49	Enlucido interior con impermeabilización 1:2 para piso y pared	m2	10,37	17,6	182,54
50	Tapa sanitaria de tool 70x70 cm (incluye ángulo y seguridad)	u	98,25	5	491,26
<b>Desarenador</b>					
51	Desbroce y limpieza manual del terreno	m2	1,13	20	22,60

52	Replanteo y nivelación	m2	1,70	20	33,94
53	Excavación a máquina h = 1.80 a 2.00 m	m3	2,77	40	110,93
54	Relleno compactado con material de excavación capas de 20 cm	m3	1,63	8	13,07
55	Hormigón simple f'c=180 kg/cm2, para replantillo e= 5cm	m3	68,08	0,435	29,61
56	Hormigón f'c= 240 Kg/cm2 en muros y losas, incluye encofrado/desencofrado	m3	153,45	8,2	1258,29
57	Hormigón simple f'c= 240 Kg/cm2 para estructuras menores, incluye encofrado/desencofrado	m3	153,45	1,56	239,38
58	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm	kg	6,07	1676,2	10173,03
59	Cama de arena e = 5 mm	m3	0,65	0,04	0,03
60	Enlucido exterior 1:3	m2	15,92	7,7	122,61
61	Enlucido interior con impermeabilización 1:2 para piso y pared	m2	10,37	30,3	314,26
62	Cámara de válvula	u	90,99	1	90,99
63	Válvula de compuerta Ø 75 mm	u	203,73	1	203,73
64	Válvula de compuerta Ø 90 mm	u	220,58	1	220,58
65	Codo PVC Ø 90 mm - 90°	u	9,61	3	28,84
66	Tee PVC Ø 90 mm	u	10,09	1	10,09
67	Tapa sanitaria de tool 70x70 cm (incluye ángulo y seguridad)	u	98,25	4	393,01
68	Tubería PVC Ø 90 mm, desagüe (incluye MAT/TRANS/INST)	m	8,73	6	52,35
69	Unión universal PVC Ø 90 mm, para desagüe	u	6,17	1	6,17
70	Unión de ampliación PVC Ø 90 mm	u	7,55	1	7,55
<b>Tanque de almacenamiento</b>					
71	Desbroce y limpieza manual del terreno	m2	1,13	45	50,86
72	Replanteo y nivelación	m2	1,70	45	76,36
73	Excavación a máquina h = 4.00 a 4.50 m	m3	2,77	202,5	561,61
74	Relleno compactado con material de excavación capas de 20 cm	m3	1,63	18	29,41
75	Hormigón simple f'c=180 kg/cm2, para replantillo e= 5cm	m3	68,08	2,05	139,56
76	Hormigón f'c= 240 Kg/cm2 en muros y losas, incluye encofrado/desencofrado	m3	165,25	44,25	7312,37
77	Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm	kg	6,07	7312,38	44379,60
78	Cama de arena e = 5 mm	m3	0,65	0,205	0,13
79	Enlucido exterior 1:3	m2	15,92	41	652,84
80	Enlucido interior con impermeabilización 1:2 para piso y pared	m2	10,37	186,34	1932,65
81	Codo PVC Ø 90 mm - 90°	u	9,61	2	19,22
82	TEE PVC Ø 90 mm	u	10,09	1	10,09
83	Tapa sanitaria de tool 70x70 cm (incluye ángulo y seguridad)	u	98,25	3	294,75
84	Tubería PVC Ø 90 mm, desagüe (incluye MAT/TRANS/INST)	m	8,73	1	8,73
85	Unión universal PVC Ø 90 mm, para desagüe	u	6,17	1	6,17
86	Válvula de compuerta Ø 90 mm	u	203,73	2	407,46
87	Cámara de válvulas	u	92,57	1	92,57
<b>Total</b>					<b>126645,44</b>

*Fuente: Los Autores.*

## **Anexo Q**

### *Análisis de precios unitarios*

## Anexo R

Costos de operación y mantenimiento.

Volumen de agua a tratar		
Parámetro	valor	unidad
Caudal de diseño	3.60	l/s
Volumen diario a tratar	311.13	m <sup>3</sup> /día
Volumen anual a tratar	113561.14	m <sup>3</sup> /año

Fuente: Los Autores.

Cantidad de hipoclorito de calcio		
Parámetro	valor	unidad
Caudal de diseño	0.71	g/m <sup>3</sup>
hipoclorito de calcio diario	220.90	g/día
hipoclorito de calcio anual	80628.41	g/año

Fuente: Los Autores.

Herramientas y equipos					
Parámetro	Cantidad	Unidad	Vida útil (años)	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Pala	2	u	8	25	6.25
Pico	1	u	8	25	3.13
Machete	4	u	3	30	40.00
Equipo de protección personal	4	u	1	75	300.00
Tubería y accesorios	12	m	-	8.73	104.76
				Total (\$)	454.14

Fuente: Los Autores.

Costos administrativos				
Parámetro	Cantidad	Unidad	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Administrador	0.250	mensual	400	1200
Recaudador	0.500	mensual	400	2400
Material de oficina	1.000	mensual	10	120
			Total (\$)	3720.00

Fuente: Los Autores.

<b>Costos de mantenimiento</b>						
Parámetro	Cantidad	Unidad	Personal		Costo diario (\$)	Costo anual (\$)
Limpieza de la captación	1.00	semestral	1 operador peones	3	80	160.00
Revisión de la tubería	1	mensual	1 operador peones	2	60	720.00
Limpieza del desarenador	1	anual	1 operador peones	3	80	80.00
Chequeo en válvulas de compuerta	1	mensual	1 operador		20	20.00
Limpieza del tanque de almacenamiento	1	anual	1 operador peones	3	80	80.00
Limpieza de las cámaras rompe presión	5	anual	1 operador peones	2	80	400.00
<b>Costo total anual (\$)</b>						<b>1460.00</b>

*Fuente: Los Autores.*

## **Anexo S**

### *Planos*