



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

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA
EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

Ronald Miguel Sunún Tuy

Asesorado por el MSc. Ing. Norman Leonel Siguí Gil

Guatemala, marzo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA
EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RONALD MIGUEL SUNÚN TUY

ASESORADO POR EL MSC. ING. NORMAN LEONEL SIGUÍ GIL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola Donis
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA
EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2020.

Ronald Miguel Sunún Tuy

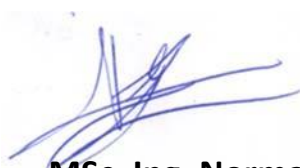
Guatemala, 18 de febrero de 2023

Señor:
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Respetable Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, informo atentamente que he revisado el trabajo de graduación del estudiante universitario **Ronald Miguel Sunún Tuy**, denominado: **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ”**, habiéndose desarrollado según el protocolo aprobado. Deseo manifestar que el estudiante Sunún ha cumplido con los objetivos que motivaron la selección del tema. Por lo tanto, hago de su conocimiento que doy por aprobado el presente trabajo de graduación, solicitando a su jefatura dar el trámite correspondiente.

Sin otro particular, atentamente



MSc. Ing. Norman Siguí Gil
Ingeniero Sanitarista
Col. 11524

MSc. Ing. Norman Leonel Siguí Gil

Colegiado No. 11524

Asesor



Guatemala, 21 de febrero 2023

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Fuentes:

Por medio de la presente comunico a usted, que a través del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil se ha revisado el Trabajo Final de Graduación, **“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ”**, del estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, **RONALD MIGUEL SUNÚN TUY**, Registro Académico: **2015-03758**, como Asesor al **ING. NORMAN LEONEL SIGUÍ GIL**

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

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C
Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Del Departamento de Hidráulica
Cc: Estudiante xxxxxxxxxxxx
Archivo

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Coordinador del Departamento de Hidráulica

Asesor
Interesado

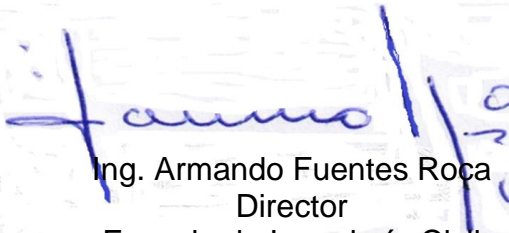




LNG.DIRECTOR.050.EIC.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**, presentado por: **Ronald Miguel Sunún Tuy**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, marzo de 2023



LNG.DECANATO.OI.273.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**, presentado por: **Ronald Miguel Sunún Tuy**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, marzo de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por guiarme en todo el proceso, por darme sabiduría y entendimiento para aprobar los cursos, por su amor, fidelidad y por nunca dejarme caer en los momentos más difíciles.
- Mis padres** Miguel Ángel Sunún Sicá y Eugenia Victoria Tuy Pérez, por su apoyo incondicional, por creer en mí, por su amor genuino y por ser el más grande ejemplo de vida y superación.
- Mi hermanamos** Ángel y Mateo Sunún, para quienes quiero ser un ejemplo de hermano.
- Mi hermana** Jessica Sunún, por su apoyo y animarme siempre en los momentos más difíciles y ser un ejemplo de persistencia.
- Mi abuelo** Doroteo Sunún, por sus oraciones y aconsejarme para la vida.
- Mis primos** Kevin y Milton Tuy.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de tener una carrera universitaria y desarrollarme como profesional.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para ser un buen ingeniero.
Mis amigos de la Facultad	Mónica Ramírez, Luis Ralac, Fredy Sinay, Álex Muz, Thania Rocha, Jarín Monterroso y Dennis Elis.
Asesor de tesis	Ing. Norman Siguí Gil, por apoyarme en corregir el proceso de elaboración de tesis y asesorarme en presentar una investigación que servirá de ruta crítica a la municipalidad para posibles proyectos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA Y CAPTACIONES	1
1.1. Fuentes de agua.....	1
1.2. Manantiales	2
1.3. Agua subterránea	3
1.4. Agua de lluvia	4
1.5. Métodos de aforo más utilizados en abastecimiento de agua	4
1.5.1. Método volumétrico	5
1.5.2. Aforo por flotadores	6
1.5.3. Aforo de pozos perforados	7
1.6. Obras de captación	8
1.6.1. Captación de manantiales	8
1.6.2. Captación de aguas subterráneas	9
1.7. Acceso de agua potable a la población	11
2. PROBLEMÁTICA DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE INTERMITENTE EN SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ	13
2.1. Sistemas de suministro de agua intermitente	13

2.2.	Inconvenientes de los sistemas de suministro intermitente.....	14
2.2.1.	A la municipalidad de Santa María de Jesús, Sacatepéquez	14
2.2.2.	A la población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez	16
2.3.	Categorización de los sistemas Intermitentes	18
2.3.1.	Escasez debida a una mala gestión.....	18
2.3.2.	La escasez económica.....	19
2.3.3.	La escasez absoluta.....	20
2.4.	Características hidráulicas de un sistema intermitente	20
2.4.1.	Demanda dependiente de la presión.....	21
3.	ESTUDIO HIDRÁULICO DE LA RED DE CONDUCCIÓN DEL POZO NRO. 4 QUE ABASTECE AL SEGUNDO Y CUARTO CANTÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ	23
3.1.	Análisis del estudio hidráulico	23
3.1.1.	Población actual	25
3.1.2.	Tasa de crecimiento poblacional	26
3.1.3.	Población futura abastecida por el pozo nro. 4	26
3.1.4.	Dotación de agua	27
3.1.5.	Caudal medio diario teórico actual	28
3.1.6.	Caudal medio diario teórico futuro.....	28
3.1.7.	Caudal máximo diario teórico actual	29
3.1.8.	Caudal máximo diario teórico futuro.....	29
3.1.9.	Caudal de bombeo teórico actual.....	30
3.1.10.	Caudal de bombeo teórico futuro	30
3.1.11.	Caudal de bombeo real	31
3.1.12.	Caudal máximo diario real.....	32
3.1.13.	Caudal medio diario real	32

3.1.14.	Dotación actual real	33
3.2.	Análisis de la carga dinámica total del sistema de línea de conducción del pozo nro. 4.....	33
3.2.1.	Análisis de carga dinámica total de pozo nro. 4 a tanque de rebombeo del sistema actual	34
3.2.1.1.	Pérdida por succión	34
3.2.1.2.	Pérdida por velocidad	35
3.2.1.3.	Pérdidas en la línea de impulsión	35
3.2.1.4.	Pérdidas menores.....	36
3.2.1.5.	Altura de bomba	37
3.2.1.6.	Altura del pozo al tanque	37
3.2.1.7.	Carga dinámica total y aporte de la bomba.....	37
3.2.2.	Análisis de carga dinámica total de pozo nro. 4 a tanque de rebombeo, proyección para el año 2037.....	40
3.2.3.	Análisis de carga dinámica total del tanque de rebombeo al tanque del bosque del sistema actual.....	41
3.2.4.	Análisis de carga dinámica total de rebombeo al tanque del bosque, proyección para el año 2037 ...	43
3.3.	Volumen en tanques de almacenamiento del sistema de conducción de pozo nro. 4	45
3.3.1.	Análisis del volumen de los tanques.....	46
3.4.	Diseño de línea de conducción por gravedad del sector Ramales	47
3.4.1.	Población futura.....	48
3.4.2.	Caudal de diseño.....	48
3.4.3.	Cálculo de diámetros y pérdidas de energía	49

3.4.4.	Volumen de tanque de distribución de línea de conducción por gravedad	51
3.5.	Caja distribuidora de caudales	51
3.5.1.	Cálculo de vertederos dentro de caja distribuidora de caudales	52
4.	BREVE ANÁLISIS DE LAS OTRAS CAPTACIONES	55
4.1.	Horario de funcionamiento y capacidad de las bombas de los pozos mecánicos	55
4.2.	Volumen de tanques de captación	56
4.3.	Aforo de caudal en la fuente de captación	56
4.4.	Aforo comparativo en la fuente y la capacidad de los distintos pozos mecánicos	57
4.5.	Aforo de caudal al final de la conducción	58
4.6.	Aforo comparativo al final de la conducción y la capacidad de los distintos pozos mecánicos	58
4.7.	Capacidad de los pozos mecánicos en el 2022	60
4.8.	Capacidad de los pozos mecánicos según la fecha de construcción	61
4.9.	Coordenadas de pozos mecánicos	62
5.	APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA POR MEDIO DE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA	65
5.1.	Contexto	65
5.2.	Localización del área de estudio	65
5.3.	Climatología e hidrología local	67
5.4.	Precipitación	68
5.5.	Evapotranspiración	70
5.5.1.	Ecuación de Turc	71

5.5.2.	Resultado de evapotranspiración	72
5.5.3.	Evapotranspiración por medio de ecuación de Thothwaite	72
5.6.	Balance hídrico.....	73
5.7.	Infiltración y área de recarga hídrica	75
5.8.	Método para determinar zonas de recarga hídrica	75
5.8.1.	Métodos eléctricos (sondeo eléctrico vertical)	76
5.9.	Hidrogeología regional del área de estudio	77
5.10.	Las formaciones permeables e impermeables	78
5.11.	Características hidrogeológicas de los acuíferos	78
6.	METODOLOGÍA.....	81
6.1.	Estrategia de recolección de datos.....	81
6.2.	Recopilación de Información	81
6.3.	Fuentes de abastecimiento.....	82
6.4.	Capacidad de los equipos de bombeo	83
6.5.	Tanques de distribución y de captación	84
6.6.	Topografía	84
6.7.	Proceso de recolección de datos.....	84
6.8.	Variables de estudio	85
6.9.	Sondeo eléctrico vertical.....	86
6.9.1.	El trabajo de campo en el SEV	86
6.9.2.	Interpretación.....	88
6.9.3.	Equipo	88
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	95
	REFERENCIAS	97
	ANEXOS	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Método volumétrico para caudales menores a 4 lts/seg	6
2.	Variación de la presión y su relación con el caudal suministrado.....	22
3.	Esquema del sistema de conducción del pozo nro. 4 actual.....	24
4.	Esquema del sistema de conducción del pozo nro. 4 propuesto.....	25
5.	Rendimiento de bombas sumergibles inoxidables	38
6.	Mapa de ubicación, estudio hidrogeológico.....	66
7.	Mapa de isoyetas y precipitación	69
8.	Gráfico de precipitación anual.....	70
9.	Isoyetas de balance hídrico.....	74
10.	Representación gráfica de sondeo eléctrico vertical	77
11.	Datos del sondeo eléctrico vertical.....	88
12.	Equipo de sondeo eléctrico vertical.....	89

TABLAS

I.	Dotaciones indicadas en las normas de diseño de Unepar.....	27
II.	Pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción actual	39
III.	Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción actual	39
IV.	Pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037	40

V.	Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037	41
VI.	Pérdidas de carga en línea de conducción de bomba sumergible 2, de rebombeo hacia tanque de distribución del bosque del sistema de conducción actual	42
VII.	Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de rebombeo al tanque de distribución del bosque del sistema de conducción actual	43
VIII.	Pérdidas de carga en línea de conducción de bomba sumergible 2 de rebombeo hacia tanque de distribución del bosque del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037	44
IX.	Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de rebombeo a tanque de distribución del bosque del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037	45
X.	Datos de distancias horizontales para el diseño de línea de conducción por gravedad.....	47
XI.	Horario de funcionamiento y capacidad de las bombas de los pozos mecánicos.....	55
XII.	Volumen de tanque de captación de cada pozo y mantenimiento.....	56
XIII.	Medición de caudal por medio del método volumétrico de los pozos mecánicos, aforo en la fuente.....	56
XIV.	Tabla comparativa de aforos de las fuentes de abastecimiento de agua de los pozos mecánicos y su capacidad según horas de operación	57
XV.	Medición de caudal por medio del método volumétrico en tanques de distribución, aforo al final de la conducción	58

XVI.	Cuadro comparativo de aforos de los tanques de abastecimiento de agua de los pozos mecánicos y su capacidad según horas de operación	59
XVII.	Cuadro comparativo de la capacidad de los equipos de bombeo, utilizado en la fuente de abastecimiento de agua 2022	60
XVIII.	Cuadro comparativo de la capacidad de los equipos de bombeo utilizados en la fuente de abastecimiento de agua según la fecha de construcción	62
XIX.	Coordenadas y altura sobre el nivel del mar de los pozos mecánicos...	63
XX.	Precipitación anual	69
XXI.	Resultado de evapotranspiración por medio de la ecuación de Thorthwaite	73
XXII.	Balance hídrico y precipitación efectiva	73
XXIII.	Coordenadas de ubicación del sondeo	86

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura
Hbpt	Altura de boca del pozo al tanque de rebombeo
Hb	Altura de bomba
HV	Altura del vertedero
Cdt	Carga dinámica total
Qbr	Caudal de bombeo real
Qbta	Caudal de bombeo teórico actual
Qbtf	Caudal de bombeo teórico futuro
Q ingreso	Caudal de ingreso
Qdm	Caudal día máximo
Qmdr	Caudal máximo diario real
Qmdta	Caudal máximo diario teórico actual
Qmdtf	Caudal máximo diario teórico futuro
Qm	Caudal medio diario
Qmr	Caudal medio diario real
Qmtf	Caudal medio diario teórico futuro
Qmta	Caudal medio diario teórico actual
Q	Caudal
C	Coefficiente de rugosidad
D	Diámetro interno
DT	Diámetro teórico
DH	Distancia horizontal
Dotr	Dotación actual real

e	Eficiencia
AB	Electrodos de corriente
MN	Electrodos de potencial
Est	Estación
Evt	Evapotranspiración
A	Exponente empírico
Fd	Factor de día máximo
Gal/min	Galones por minuto
Gal/seg	Galones por segundo
g	Gravedad
h	Horas
h/día	Horas por día
I	Índice calórico
L	Litro
Lts/seg	Litros sobre segundo
L	Longitud
L1	Longitud primera
L2	Longitud segunda
MCA	Metros columna de agua
m³	Metros cúbicos
m³/día	Metros cúbicos por día
m³/h	Metros cúbicos por hora
m³/mes	Metros cúbicos por mes
HFDT1	Pérdida de carga en diámetro teórico 1
HFDT2	Pérdida de carga en diámetro teórico 2
Hfi	Pérdida de carga en la línea de impulsión
Hfm	Pérdida de carga menor
Hfs	Pérdida de carga por succión
Hfv	Pérdida de carga por velocidad

n	Periodo de diseño
Pa	Población actual
Pact	Población actual
Pf	Población futura
Pot	Potencia
P	Precipitación
ρa	Resistividad aparente
S	Segundo
r	Tasa de crecimiento
T	Temperatura
t	Tiempo
tb	Tiempo de bombeo
Vel	Velocidad
Vs	Velocidad superficial
V	Volumen
Vcom	Volumen compensador
Vmedio diario	Volumen medio diario
VTotTanques	Volumen total de tanques

GLOSARIO

Almacenamiento	Son los tanques que se utilizan para almacenar agua para suplir la demanda en las horas de máximo consumo.
Caja rompe presión	Estas cámaras rompe presión regulan la presión del agua que viene del tanque o reservorio más cercano, para que la presión del agua no realice un golpe de ariete en la tubería.
Captación	Son las obras que permitern captar el agua de la fuente a utilizar.
Carga dinámica total	La carga dinámica total representa la resistencia de un sistema de bombeo mientras el fluido bombeado está en movimiento.
Conducción	Son las obras que conducen el agua desde la captación hacia la planta de tratamiento o hacia el tanque de almacenamiento.
Cota piezométrica	Es la suma de la cota de la superficie libre y de la altura dinámica. Es la máxima presión dinámica en cualquier punto de una línea de conducción o distribución.

Distribución	Comprende las líneas y redes para llevar el agua hasta el consumidor.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal.
Método geométrico	Es el modelo matemático que más se adecúa a las poblaciones que se encuentran en vías de desarrollo.
Periodo de diseño	Periodo de tiempo que se calcula en el cual el proyecto funcionará en óptimas condiciones.
Población futura	La población a servir es una población que tiene que ser pronosticada.
Presión dinámica	Se produce cuando hay flujo de agua.
Presión estática	Se produce cuando todo el líquido en la tubería y en el recipiente que la alimenta está en reposo.
PVC	Cloruro de polivinilo (PVC).
Red de conducción	Es la tubería, canales y túneles por donde se transporta el caudal de día máximo.
Red de conducción	Infraestructura para el transporte del agua captada en un cauce o acuífero, desde la toma (bocatoma o pozo) al lugar donde se efectúa su aprovechamiento.

UNEPAR

Unidad ejecutora del programa de acueductos rurales.

RESUMEN

El agua potable es indispensable para el ser humano, ya que sin este recurso no se puede sobrevivir, pero lamentablemente este no es un privilegio que todo el mundo posee, ya que está limitado para muchas personas y no todos tienen acceso al mismo, en otros casos poseen el servicio de agua potable pero el suministro es deficiente, por ello en este trabajo de graduación, que consta de cinco capítulos, con el título *Evaluación de la capacidad y aprovechamiento de las fuentes de agua en Santa María de Jesús Sacatepéquez*, se investigará en el primer capítulo los tipos de fuentes de agua y captaciones existentes en el municipio para conocer la función y las cualidades de estos temas y, de esta forma, entender y familiarizarse con los siguientes capítulos.

En el capítulo dos se desarrollará la problemática del sistema de suministro de agua potable intermitente, ya que es fundamental priorizar este capítulo para introducir uno de los problemas que atraviesa el municipio, que es el deficiente servicio de agua potable.

En el capítulo tres se detalla el estudio hidráulico de la línea de conducción del pozo nro. 4 que beneficia al segundo y cuarto cantón del municipio, para evaluar el funcionamiento del sistema actual. En el capítulo cuatro se realiza un breve análisis de las otras captaciones de las fuentes de agua del municipio. En el capítulo cinco se investiga la identificación de las zonas de recarga hídrica para el aprovechamiento de las fuentes de agua y de esta forma gestionar de una buena forma los recursos hídricos y, por último, se

desarrolla la metodología de campo para obtener los resultados de aforo de las fuentes de agua y del estudio de las zonas de recarga hídrica.

Al final de la investigación se podrá analizar el aprovechamiento del recurso hídrico mediante el estudio hidráulico de los sistemas de captación y conducción del pozo nro. 4 con toda la información investigada.

OBJETIVOS

General

Evaluar la capacidad y el aprovechamiento de las fuentes de agua del segundo y cuarto cantón en Santa María de Jesús, Sacatepéquez.

Específicos

1. Evaluar la capacidad de producción de caudal de las fuentes de agua en uso en Santa María de Jesús, en época de estiaje.
2. Analizar el aprovechamiento del recurso hídrico mediante el estudio hidráulico del sistema de captación y conducción del pozo nro. 4 en Santa María de Jesús.
3. Establecer una dotación de agua potable adecuada para la población.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua no es un privilegio que toda la humanidad tiene, ya que está limitado para millones de personas alrededor del mundo, debido a que hay muchas razones que van más allá de los recursos físicos, normalmente algunos lugares son ricos y abundantes en recursos hídricos pero el problema está en que no se cuenta con infraestructura hidráulica para captar y conducir el agua hasta un destino determinado, y esto es ocasionado por los problemas políticos y socioculturales que dificultan el acceso a este servicio. Por otra parte, existen lugares donde la demanda de agua de la población es mayor a la disponible como recurso natural (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015).

Este problema es común también cuando la demanda de la población supera la capacidad de las fuentes de agua y todo esto provoca bajo suministro para la población que se traduce a un mal servicio de agua potable. Por ello las obras civiles de infraestructura más importantes deberían ser los sistemas de distribución de agua potable y deberían ser una prioridad en los municipios, lamentablemente en Guatemala no se acostumbra a invertir en este tipo de infraestructura, por lo que este tipo de necesidades quedan en segundo plano.

Santa María de Jesús Sacatepéquez cuenta con un sistema de agua potable que abastece a la población en días alternos durante una hora aproximadamente, por lo que el servicio de agua potable es deficiente para la población. Este problema se agrava en época seca del año, ya que el caudal de las fuentes de agua disminuye.

Debido a este problema que atraviesa el municipio se necesita realizar una investigación de las causas del deficiente servicio de agua, específicamente sobre la capacidad y el aprovechamiento de las fuentes de esta, para permitir a la municipalidad establecer una hoja de futuros proyectos, con el objetivo de mejorar el suministro de agua potable en la población.

1. TIPOS DE FUENTES DE AGUA Y CAPTACIONES

1.1. Fuentes de agua

Las fuentes de agua forman parte del principal recurso en un suministro de agua, para cubrir distintas necesidades como de alimentación, higiene y aseo de todas las personas que habitan en un determinado lugar o población en general.

La ubicación, tipo, caudal y calidad del agua son factores que influyen para determinar la selección y diseño del tipo de sistema de abastecimiento de agua a construirse, ya que debe relacionarse según las características y la cantidad de agua disponible en dicho lugar, por ende es importante señalar que se debe seleccionar una fuente adecuada o la combinación de fuentes para una dotación de agua suficiente para la población. Y, por otro lado, es necesario realizar el análisis físico, químico y bacteriológico del agua y evaluar los resultados con los valores de concentración máxima admisible recomendados por la OMS, para conocer la calidad del agua y que pueda ser apta para el consumo humano.

Además de estos requisitos, la fuente de agua debe tener un caudal mínimo en época de estiaje igual o mayor al requerido por el proyecto, y que no existan problemas legales de propiedad o de uso que perjudiquen su utilización y que las características hidrográficas de la cuenca no deben tener fluctuaciones que afecten su continuidad (CEPIS/OPS, 2004).

Santa María de Jesús, Sacatepéquez, cuenta con fuentes de agua subterráneas, entre ellas se pueden resaltar las más importantes que son los manantiales, ya que son las fuentes de mayor confiabilidad que, por lo general, no están contaminadas ya que están lejos del casco urbano del municipio. Los manantiales de Santa María de Jesús Sacatepéquez abastecen a la población y ayudan a potenciar el suministro de agua potable juntamente con los pozos mecánicos. El municipio no cuenta con fuentes superficiales, como ríos y lagos, por lo que solo estas fuentes son las que suministran el agua potable.

1.2. Manantiales

Se puede definir al manantial como un lugar donde se produce el afloramiento natural de agua subterránea y que se origina por la filtración del agua de lluvia o por la incidencia de un ramal de un río, por ello también es llamado nacimiento, ya que se puede observar que el agua brota del subsuelo saliendo de los estratos naturales y se produce este fenómeno cuando el agua penetra en un área y emerge en otra. Por lo general el agua fluye a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada, los manantiales pueden ser permanentes o temporales. En los lugares donde existen estratos impermeables o donde el agua no es capaz de infiltrarse más, estos bloquean el flujo subterráneo de agua y permiten que aflore a la superficie.

Los manantiales se clasifican por su ubicación y su afloramiento. Por su ubicación son de ladera o de fondo, y por su afloramiento son de tipo concentrado o difuso.

En los manantiales de ladera el agua aflora en forma horizontal, mientras que en los de fondo el agua aflora en forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área

pequeña, es un manantial concentrado, y cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor es un manantial difuso (CEPIS/OPS, 2004).

Entre los recursos hídricos existentes de Santa María de Jesús se pueden mencionar 2 manantiales de agua importantes: Chuyá y Panixin. Estos manantiales son continuos, pero en la época de estiaje el caudal disminuye debido a la ausencia de precipitación de lluvia que se infiltra en el suelo, el único que es aprovechado es el manantial de Chuyá, que va directo a una pila cantonal.

1.3. Agua subterránea

Una parte de las precipitaciones se acumula en la cuenca se infiltra en el suelo hasta llegar a la zona de saturación. La Organización Panamericana de la Salud y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente mencionan que estas filtraciones de la precipitación hasta llegar a la saturación son las que forman las aguas subterráneas (OPS/CEPIS, 2004). La explotación de estas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero, ya que en función de estas características se podrá determinar la capacidad de estas fuentes de agua. La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos.

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en cada momento en los continentes. Según Argueta (2009):

Las aguas subterráneas tienen un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o circulante, y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar volúmenes

enormes. El agua del subsuelo es un recurso importante, pero de difícil gestión, por su sensibilidad a la degradación y a la sobreexplotación, el aprovechamiento de este recurso es muy importante y es la opción más usada en la actualidad, porque a pesar de su sensibilidad se podría determinar que es la que se encuentra en un nivel óptimo de calidad. (p. 20)

1.4. Agua de lluvia

El agua de lluvia se utiliza en aquellos casos en que no es posible obtener agua superficial, es decir de los manantiales y ríos que son de buena calidad y cuando el régimen de lluvia es importante. Según OPS/CEPIS (2004): “para ello se utilizan los techos de las casas o algunas superficies impermeables para captar el agua y conducirla a sistemas cuya capacidad depende del gasto requerido y del régimen pluviométrico” (p.5).

Esta fuente es de mucha utilidad en el municipio de Santa María de Jesús, ya que la población aprovecha la época lluviosa para llenar sus recipientes. Por lo general en cada vivienda se puede observar que poseen toneles de 0.21 m³, ya que muchos no tienen los recursos suficientes para construir una cisterna para almacenar el agua, por ello instalan canales en las cubiertas de sus viviendas y aprovechan esta fuente de agua.

1.5. Métodos de aforo más utilizados en abastecimiento de agua

El aforo de las fuentes de agua es recomendable medirlo en la época de estiaje, ya que el valor del caudal mínimo debe ser mayor que el consumo máximo diario, con el fin de cubrir la demanda de agua de la población futura y que de esta manera se tenga un buen servicio de agua potable que aplica tanto

en calidad, como en cantidad y continuidad, por ello se definen los siguientes métodos más utilizados en abastecimiento de agua.

1.5.1. Método volumétrico

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Según el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), el método volumétrico es usado para corrientes con flujo pequeño, como por ejemplo los nacimientos de agua o riachuelos, se puede hacer un método más exacto cuando el depósito o recipiente sea más grande y que pueda medir su capacidad de forma precisa, pero siempre va a depender de las características del caudal (ICC, 2017).

Este método consiste en dirigir el caudal hacia un recipiente de volumen conocido y medir el tiempo total en que se llena el recipiente, se recomienda realizar varias repeticiones para tener una mayor exactitud del caudal a medir, se obtiene mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

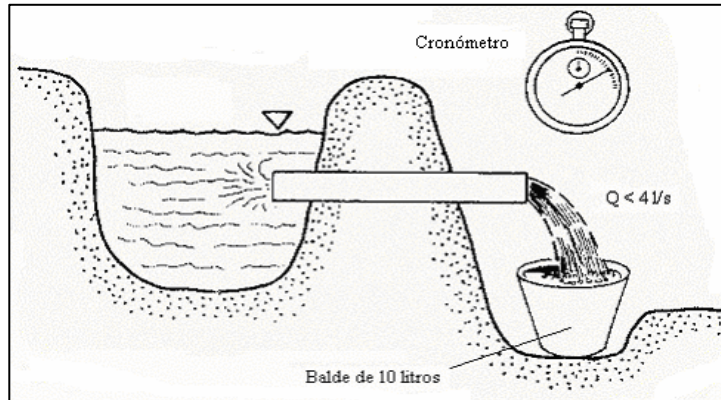
Q = es el caudal expresado en m³ /s

V = volumen dado en m³

T = tiempo en segundos

Por lo tanto, este método es muy práctico y eficiente, cuando se trate de caudales de flujo pequeño, en trabajos experimentales o para conocer rápidamente el caudal aportado por determinado riachuelo.

Figura 1. **Método volumétrico para caudales menores a 4 lts/seg**



Fuente: FNC (s. f.). *Aforo volumétrico*. Consultado el 30 de octubre de 2020. Recuperado de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/caudal-definicion-y-metodos-de-medicion/>.

1.5.2. **Aforo por flotadores**

Este tipo de aforos tienen un procedimiento fácil de realizar, pero también son imprecisos.

Por lo tanto, su uso queda limitado a situaciones donde no se requiera mayor precisión. Con este método se pretende conocer la velocidad media de la sección para ser multiplicada por el área, y conocer el caudal, según la ecuación de continuidad.

Para la ejecución del aforo se procede de la siguiente forma: se toma un trecho de la corriente de longitud L ; se mide el área A de la sección, y se lanza un cuerpo que flote, aguas arriba del primer punto de control, y al paso del cuerpo por dicho punto se inicia la toma del tiempo que dura el viaje hasta el punto de control corriente abajo.

La velocidad superficial de la corriente, V_s , se toma igual a la velocidad del cuerpo flotante y se calcula mediante la relación entre el espacio recorrido L , y el tiempo de viaje t .

$$V_s = \frac{L}{t}$$

Se considera que la velocidad media de la corriente, V_m , es del orden de $0.75V_s$ a $0.90 V_s$, donde el valor mayor se aplica a las corrientes de aguas más profundas y rápidas (con velocidades mayores de 2 m/s). Habitualmente, se usa la siguiente ecuación para estimar la velocidad media de la corriente: $V_m = 0.85V_s$. (USDA, 2001)

1.5.3. Aforo de pozos perforados

Para aforar un pozo primero se debe instalar una bomba de prueba y como siguiente paso se debe construir un drenaje para que el agua pase sin ninguna dificultad.

Después de ello se empieza a medir el caudal y la profundidad del pozo, este procedimiento hay que realizarlo simultáneamente. Se realiza durante 24 a 48 horas continuas. El caudal de prueba que se busca en un pozo puede oscilar entre un 10 a un 15 % del caudal de bombeo y la bomba de prueba debe colocarse a una profundidad que resulte económica para el bombeo.

Existen varios métodos para medir los niveles, pero a continuación se mencionan dos para medir el nivel dinámico y estático:

- Sonda eléctrica: este método es uno de los más eficientes de medición, ya que esta sonda tiene un electrodo por cada pie o por cada metro y

está conectada a un amperímetro. Cuando se introduce la sonda al pozo y el electrodo hace contacto con el agua, el amperímetro mide la corriente en ese nivel.

- Cinta enyesada: en este método se debe enyesar toda la cinta métrica y en el momento de introducirla al pozo y sacarla se puede observar la marca hasta donde se humedeció el yeso.

Cuando sucede abatimiento en un pozo existe una diferencia de altura entre el nivel estático y el nivel dinámico. Una característica que cabe resaltar sobre el abatimiento es que a mayores caudales menores abatimientos y, por ende, el pozo es excelente para bombear agua. (Aguilar, 2007)

1.6. Obras de captación

Las obras de captación son las obras civiles y equipos electromecánicos que se utilizan para reunir y disponer adecuadamente del agua superficial o subterránea. Dichas obras varían de acuerdo con la naturaleza de la fuente de abastecimiento, su localización y magnitud.

1.6.1. Captación de manantiales

Una vez se haya elegido la fuente de agua, e identificada como capaz de suministrar agua potable en el lugar de afloramiento, según CEPIS/OPS (2004):

Se construye una estructura de captación que permita recolectar el agua, para que luego pueda ser transportada mediante las tuberías de conducción hacia algún tanque de almacenamiento. Se recomienda que la ubicación de la fuente no esté en un lugar vulnerable a desastres

naturales, para evitar problemas con el suministro de agua potable para la población. El diseño hidráulico y dimensionamiento de la captación dependerán de la topografía de la zona, de la textura del suelo y de la clase del manantial; buscando no alterar la calidad y la temperatura del agua ni modificar la corriente y el caudal natural del manantial, ya que cualquier obstrucción puede tener consecuencias que pongan en riesgo la infraestructura hidráulica como la vida de las personas que se encarguen de cuidar la fuente de agua. Es importante que se incorporen características de diseño que permitan desarrollar una estructura de captación que considere un control adecuado del agua, oportunidad de sedimentación y facilidad de inspección y operación. (p.9)

Cada manantial, como en los pozos de Santa María de Jesús, cuenta con tanques de captación donde se almacena el agua para luego ser bombeada hacia los tanques de distribución y ser distribuida para los consumidores del municipio.

1.6.2. Captación de aguas subterráneas

Este tipo de captación se puede obtener mediante la excavación o perforación de pozos, ya que las aguas son distintas a las superficiales y necesitan este método de extracción para encontrar aguas subterráneas, por lo que se necesita bombear el agua hasta la superficie y almacenarla en un tanque de captación si no es directa la distribución. La desventaja en este tipo de fuente es que la extracción por bombeo produce altos consumos de energía o combustible de la bomba, por ende, en este tipo de captación los gastos son altos. (Aguilar, 2007)

Los pozos mecánicos o perforados son obras hidrogeológicas de acceso a uno o más acuíferos, con la finalidad de captar agua subterránea, ejecutada con sonda perforadora en forma vertical con diámetro mínimo de 8”.

Es el conjunto de operaciones que se realizan con el objeto de excavar mecánicamente un pozo. A través de la realización de este se atraviesa el suelo y formaciones adyacentes mediante una sonda perforadora. En función de la necesidad de extracción y de la geología local.

Son todos aquellos pozos para cuya perforación se emplean maquinas o equipos especialmente diseñados, para alcanzar las formaciones acuíferas. El diámetro y profundidad son funciones de la necesidad y disponibilidad hídrica de la geología presente.

Generalmente se perforan cuando no existe otra fuente disponible de tipo superficial (escorrentía o manantial), y/o cuando se necesitan caudales apreciables de agua y que esta se encuentra a considerable profundidad. (González, 2015, p. 46)

Santa María de Jesús cuenta con 3 pozos mecánicos, estos ayudan a potenciar el suministro de agua potable, ya que no hay fuentes de agua superficiales, como ríos o lagos, por lo que se aprovechan estas aguas subterráneas. Estos pozos mecánicos están ubicados en Sabana Grande, en un sector de altitud más baja que la del municipio, formando un semivalle, rodeado de montañas que limitan con Amatlán y el Volcán de Agua, esto hace que se formen las cuencas superficiales y por la propia topografía del terreno bajen hasta el punto más bajo del terreno y se infiltren en el suelo, para luego ser aprovechada el agua por medio de estos pozos y bombeada hasta un tanque de captación.

1.7. Acceso de agua potable a la población

No todos tienen el privilegio de tener acceso al agua potable, por lo que está limitado para millones de personas en el mundo. Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo (2015) plantean que las razones van más allá de los recursos físicos. En algunos lugares son ricos en recursos hídricos, pero debido a la falta de infraestructura, producto de los problemas políticos y socioculturales, se dificulta el acceso para la gente. En otros lugares la demanda de agua de la población es mayor a la disponible como recurso natural.

La población de Santa María de Jesús se abastece del suministro de agua potable entubada que llega hasta su vivienda, pero también hacen uso de los llena-cántaros como parte de la vida cotidiana, para cubrir la demanda de agua que se necesita en casa, ya que el agua que recolectan no es suficiente y por ello recurren a esta fuente de mucho beneficio y que es totalmente gratis y de acceso para todos.

2. PROBLEMÁTICA DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE INTERMITENTE EN SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ

2.1. Sistemas de suministro de agua intermitente

Un sistema de suministro de agua intermitente puede formarse por varias causas, pero se considera intermitente cuando el servicio es limitado, por lo que solo está en servicio por un tiempo determinado. Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo (2015) plantean que la periodicidad puede ser diaria o en días alternos, o en casos extremos por varios días. Normalmente este tipo de suministro requiere mucha más agua que los sistemas continuos, debido a que tiene altos niveles de desperdicio.

Generalmente, este tipo de sistemas se diseñan y se construyen con la finalidad de trabajar como sistemas continuos. Sin embargo, son varias las causas para que el suministro se realice de forma intermitente y que, en varias horas del día, la tubería se encuentre vacía con presencia de aire, que es lo que normalmente ocurre en estos sistemas. En muchas ciudades pequeñas con sistema intermitente el servicio es por horas para toda la red simultáneamente.

En ciudades con extensión territorial más grandes el abastecimiento se realiza por sectores y cada sector tiene un horario establecido, tal es el caso de Santa María de Jesús, donde el sistema de suministro de agua potable es intermitente y el abastecimiento es con rotación de horario diferenciado por sectores o cantones, como se llaman en el municipio.

Existen muchas razones por las que existen los sistemas de abastecimiento intermitente. Muchos autores sugieren tres tipos de problemas que pueden provocar o perpetuar el suministro intermitente de agua: la mala gestión técnica, la escasez económica y la escasez absoluta del recurso hídrico. En todos estos casos las empresas encargadas del suministro de agua pueden recurrir como respuesta a corto plazo al abastecimiento de forma intermitente.

2.2. Inconvenientes de los sistemas de suministro intermitente

El abastecimiento de agua, por ser discontinuo o intermitente, genera problemas tanto a la municipalidad encargada del servicio de agua como a la población consumidora. A continuación se muestran los inconvenientes que se presentan en el suministro intermitente en Santa María de Jesús, Sacatepéquez.

2.2.1. A la municipalidad de Santa María de Jesús, Sacatepéquez

- Presentan fallas en la infraestructura y se deteriora con mayor rapidez, estas fallas son más frecuentes que en un sistema continuo, debido a la operación del sistema, una de las principales falencias se produce en las válvulas, que sufren un desgaste más rápido. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)
- Es más difícil encontrar las fugas en el sistema, se genera una mayor cantidad de fugas de fondo. (Farley, 2001)
- Es ineficiente desde el punto de vista energético, la demanda de los consumidores llega a tanques o depósitos sometidos a presión atmosférica, por lo que el sistema de la vivienda trabajará con menor

presión. Muchas veces los tanques domiciliarios no cuentan con válvulas-flotador, lo que puede incrementar el desperdicio en las viviendas. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)

- El volumen de almacenamiento en los depósitos principales del sistema es insuficiente, el sistema intermitente exige cantidades grandes de almacenamiento, ya que cae en mayor cantidad, pero en un tiempo limitado, por lo que se necesita almacenamiento grande. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)
- Los usuarios pueden estar descontentos con el servicio, lo cual dificultaría las tareas de cobro. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)
- Debido a que en algunos periodos la tubería se encuentra vacía o con presiones bajas, puede ocurrir contaminación por el ingreso de agua del nivel freático o aguas residuales por fisuras o uniones en las tuberías. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015).
- Debido a que las tuberías están expuestas alternadamente al aire y agua, se corroen más rápidamente, de esta forma tienen que ser reparadas y cambiadas con mayor frecuencia que en los sistemas continuos. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)
- La presencia de aire atrapado entre dos columnas de agua sometidas a presión puede provocar importantes sobrepresiones, situación común en sistemas intermitentes cuando comienza el horario de suministro, lo que puede causar daño a la tubería, juntas y accesorios, generando posteriormente fugas o el ingreso de contaminación a la red. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)
- El agua que queda en las tuberías después de la distribución se encuentra mayor tiempo dentro la red, por lo que el efecto residual del cloro puede reducirse. Se necesitan dosis más altas de cloro. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)

2.2.2. A la población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez

La población debe almacenar la mayor cantidad de agua posible para cubrir sus actividades diarias de las horas o días en las cuales no se tenga el servicio. Ilaya (2016) plantea que los consumidores, cuando no pueden recibir la cantidad de agua suficiente, recurren a otras fuentes de agua como pozos artesanales, los cuales pueden estar contaminados por la urbanización, ya que se contaminan las aguas subterráneas por infiltración de aguas residuales y otros contaminantes, o incluso pagar mucho más a camiones cisterna que venden el agua. Con todo esto los consumidores pagan cuotas aún mayores que la de un suministro continuo, ya que están en constantes cambios y buscando métodos para abastecerse gastando tarifas altas por el consumo de agua potable.

Las personas de escasos recursos, en algunos casos, recurren a distintos métodos para desinfectar el agua y potabilizarla, y entre los más comunes está hervir el agua, por lo que se gasta por el consumo de gas propano que se utiliza y afecta a la economía de la familia.

Otras formas para obtener agua es hacer uso de los chorros municipales para abastecerse, por lo general esta agua es utilizada para el consumo y en algunos casos hierven el agua previa a ser consumida para desinfectarla.

Las personas que cuentan con posibilidades construyen en sus viviendas tanques de almacenamiento o cisternas, pero las personas de escasos recursos no cuentan con las mismas posibilidades de poder construir, y en ocasiones no poseen el espacio para un depósito domiciliario, por lo que recurren al almacenamiento de recipientes movibles que. Por lo general, utilizan toneles de

55 galones que es regularmente lo que la mayoría de los pobladores de Santa María de Jesús poseen en sus viviendas.

Otra dificultad que se presenta en este tipo de sistema de suministro intermitente es que las personas que no cuentan con una cisterna deben estar presentes a la hora del suministro y estar pendientes, ya que deben llenar todos sus recipientes y esto genera también un retraso en la economía de las familias, ya que se podría aprovechar este tiempo realizando cosas productivas o algún trabajo que beneficiaría a los ingresos de la familia y, de esta forma, desarrollarse para cubrir las necesidades de la casa.

Se generan desperdicios de agua si las personas no se encuentran en la casa a la hora del suministro, ya que el agua no es captada ni almacenada. Por otra parte, las personas recurren al acarreo de agua a las piletas o a los llenacántaros, realizando grandes colas debajo del sol, caminando largas distancias, y esperando su turno para llenar sus recipientes, por lo que todo esto genera problemas sociales y conflictos entre los mismos pobladores, ya que no todos acarrean agua en las mismas proporciones y otros se demoran más.

También esto genera problemas a la salud, ya que algunas personas prefieren acarrear el agua que se encuentra depositada en las piletas y está a la intemperie, por lo que provoca enfermedades gastrointestinales.

En resumen, se puede mencionar que los inconvenientes del suministro intermitente en la población de Santa María de Jesús generan problemas a la salud y a la economía, problemas sociales entre la población y en la red de distribución, ya que los picos de consumo por el servicio intermitente son mucho mayores al caudal máximo, esto quiere decir que la red no está capacitada para transportar consumos punta, debido al servicio por horario.

2.3. Categorización de los sistemas Intermitentes

Esto se realiza para encontrar una ruta de mejoramiento de un sistema de suministro intermitente. Según Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo (2015), primero se debe categorizar los problemas que lo afectan y que lo hacen un sistema deficiente, ya que no se puede ejecutar ampliaciones o construcciones sin previo estudio, por lo que se categorizará de la siguiente manera:

2.3.1. Escasez debida a una mala gestión

En este tipo de sistemas de distribución intermitente entran todos los que tienen la capacidad o que cumplen con su función para la cual fueron diseñados, es decir que cuentan con la infraestructura necesaria como tuberías principales, tanques de almacenamiento, ente otros. Y la cantidad de agua disponible extraída de las fuentes de agua es apta para la demanda de consumo. Entonces el suministro se vuelve deficiente y provoca la intermitencia, debido a la mala gestión del sistema de abastecimiento (fugas, desperdicio, operación y falta de mantenimiento, entre otros). También se incluye a aquellos sistemas en los cuales el suministro de electricidad es pobre y no depende del control del operador del servicio público de agua, lo cual puede generar intermitencia. (Ilaya, 2016, p. 14)

Santa María de Jesús es un municipio donde no se ha dado prioridad a la importancia del sistema de abastecimiento y suministro de agua potable, recientemente, de junio de 2020 hasta noviembre del mismo año, una de las fuentes principales de abastecimiento, el manantial Panixin, que se ubica entre Santa María de Jesús y Amatitlán, debido a la falta de mantenimiento de la bomba no estuvo abasteciendo de agua al tanque de almacenamiento de

rebombeo, y esto hace que la cantidad de agua disminuya para los consumidores y se traduce en una mala gestión debido a la falta de mantenimiento.

Por otro lado, en el mismo manantial se realizó una visita de campo, por lo que se pudo observar tuberías con fugas y toda el agua que brotaba del manantial no era aprovechada y recolectada. Se veía un gran desperdicio de agua, por lo que se informó a las autoridades correspondientes para darle seguimiento al problema y aprovechar ese recurso hídrico que es de vital importancia en el municipio.

2.3.2. La escasez económica

Los sistemas de suministro intermitente, debido a la escasez económica, se forman sobre explotación de la infraestructura hidráulica, ya que las demandas y el número de conexiones exceden la capacidad hidráulica, y es muy común ver este tipo de explotación en los sistemas de abastecimiento de los pueblos. No obstante, se siguen instalando tuberías y conectando a las líneas principales de conducción sin ningún estudio previo.

Asimismo, la demanda supera la capacidad de la fuente de abastecimiento (pozos, tomas de río, embalses, entre otros). El agua se vuelve escasa y el servicio deficiente porque la capacidad financiera del operador no es lo suficientemente fuerte como para ampliar la infraestructura existente y todo esto genera molestias a la población consumidora.

Este tipo de escasez puede ser resultado de la poca planificación de la demanda de agua, lo que puede ser consecuencia de escasez debido a una mala gestión. A pesar de la mejora de la gestión del desempeño de

los organismos operadores, no se puede lograr un suministro de veinticuatro horas sin la expansión física y/o el desarrollo de la infraestructura. (Ilaya, 2016, p. 14)

2.3.3. La escasez absoluta

En este tipo, la escasez de agua es causada por caudales insuficientes en la fuente. Este puede ser el problema más complicado de resolver; a veces las fuentes alternativas pueden estar situadas a grandes distancias o pueden ser necesarias grandes cantidades de energía adicional. En este caso deben aplicarse medidas estrictas de conservación del agua con el fin de mitigar el problema. Tanto la empresa de agua como los consumidores deben compartir la responsabilidad en este caso. (Ilaya, 2016, p. 15)

2.4. Características hidráulicas de un sistema intermitente

Cuando se diseña un sistema de distribución de agua potable se hace con la finalidad de ser un suministro continuo, pero debido a varias causas se puede transformar en intermitente y este es el problema, ya que las condiciones hidráulicas de funcionamiento cambian, y esta situación genera pérdidas de presión y gran desigualdad en la distribución del agua.

Cuando se tienen infraestructuras diseñadas y que se construyen para suministro continuo y se utilizan para suministro intermitente, esto se traduce en el transporte de mayores caudales que los esperados por las tuberías, en consecuencia, se producen grandes pérdidas de carga en la red, y esto afecta a los consumidores más alejados de la línea principal de distribución, un problema muy común cuando se vuelve intermitente el suministro, debido a que

no pueden abastecerse con una cantidad suficiente de agua durante las primeras horas de suministro, cuando todos están consumiendo agua. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015)

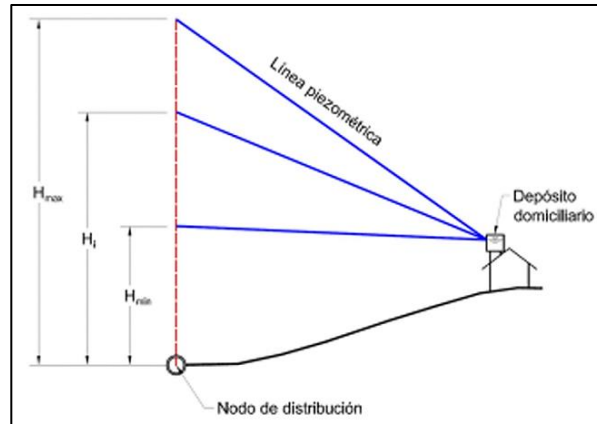
Normalmente esto es lo que sucede en las zonas altas y puntos más alejados de donde se encuentra la línea principal, ya que los pobladores de esas zonas tienen ese problema regularmente, baja presión y menos cantidad de agua, por lo que algunos prefieren optar por el servicio de los llena-cántaros que se puede encontrar en puntos específicos del municipio de Santa María de Jesús.

2.4.1. Demanda dependiente de la presión

Se puede decir que la demanda es dependiente de la presión:

En un sistema de suministro intermitente, con depósitos domiciliarios en la red, considerando que el nudo de suministro tendrá variaciones de presión entre un valor mínimo, que genera el comienzo del suministro, hasta un valor máximo de presión definido por las condiciones del sistema. (Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo, 2015, p. 38)

Figura 2. **Variación de la presión y su relación con el caudal suministrado**



Fuente: Ilaya, Campbell, Pérez e Izquierdo (2015). *La problemática de los sistemas de suministro de agua intermitentes. Aspectos generales*. Consultado el 20 de octubre de 2020. Recuperado de <http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/download/1990/1780/6602>.

3. ESTUDIO HIDRÁULICO DE LA RED DE CONDUCCIÓN DEL POZO NRO. 4 QUE ABASTECE AL SEGUNDO Y CUARTO CANTÓN DEL MUNICIPIO DE SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ

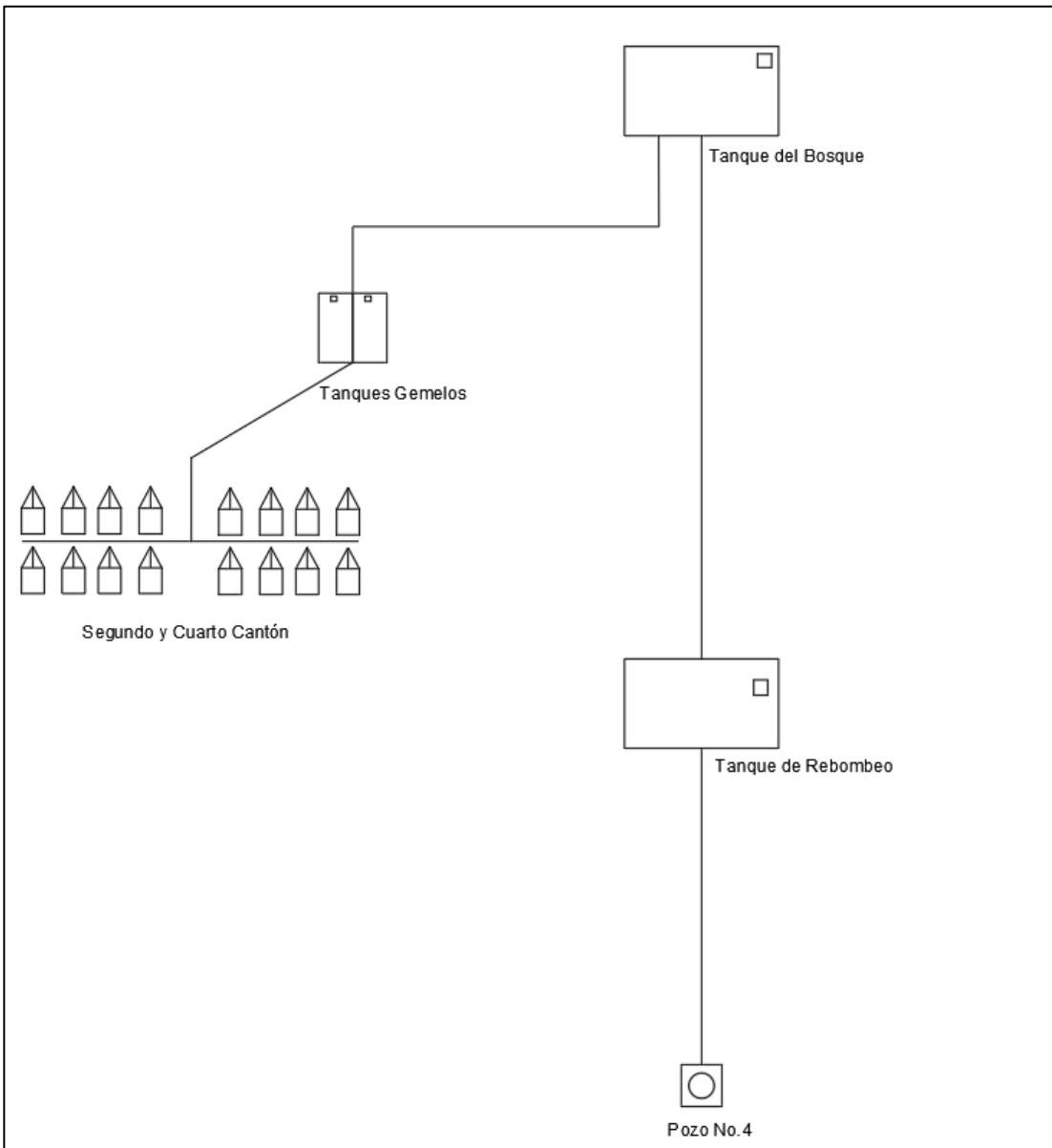
3.1. Análisis del estudio hidráulico

Se realizó una topografía de la red de conducción de agua potable de la fuente de captación del pozo nro. 4, recorriendo la tubería al rebombeo y del rebombeo hasta el tanque del bosque, que es donde se distribuye por gravedad a los tanques gemelos para redistribuirlos al segundo y cuarto cantón del municipio, con el fin de realizar un estudio hidráulico y conocer el comportamiento del agua y el sistema de conducción para su aprovechamiento.

Así mismo, se diseñó la línea de conducción por gravedad para cierta porción de la población del segundo cantón, específicamente para el sector Ramales, ya que en la actualidad se tiene una conexión provisional en la línea de conducción, que genera mayores pérdidas en el sistema.

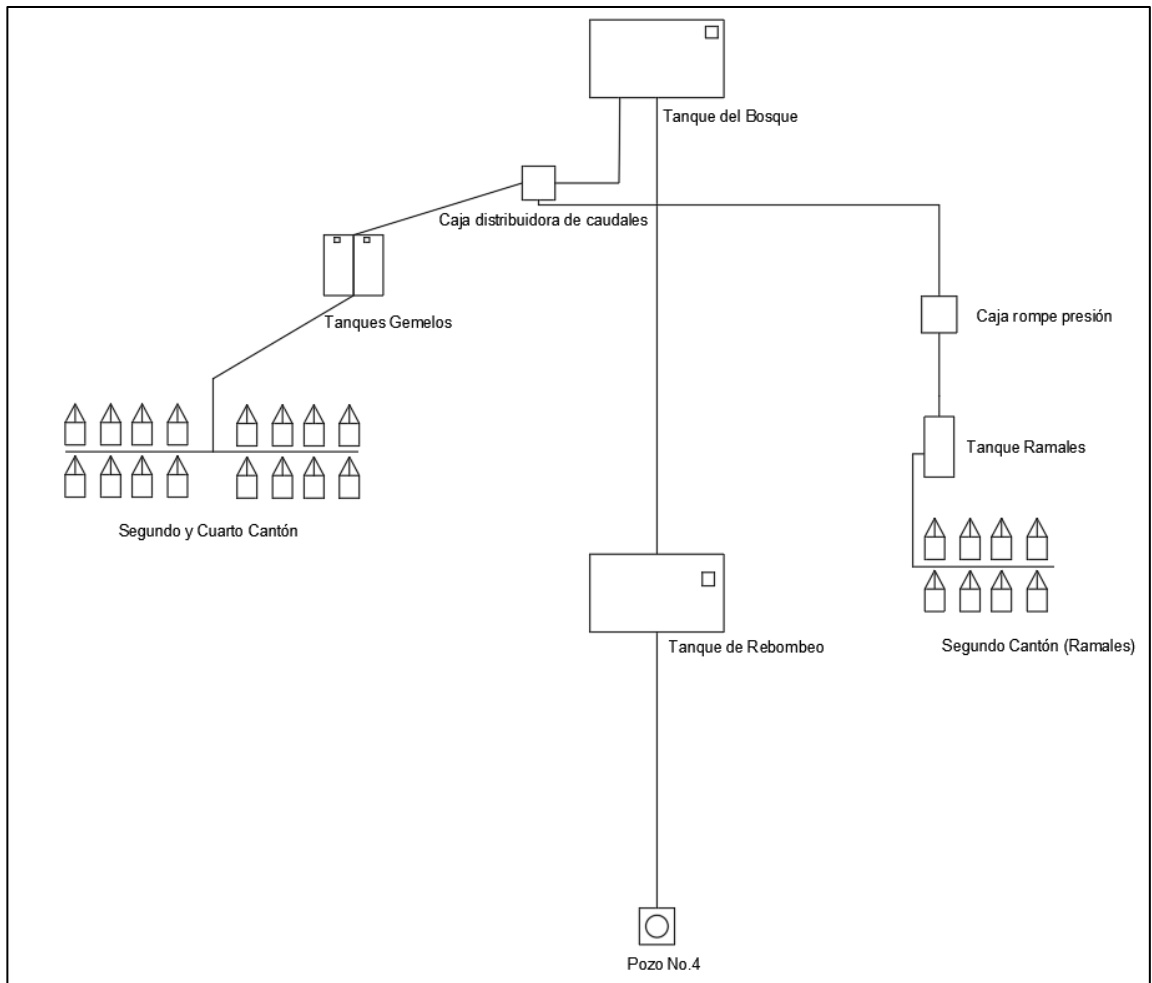
Para ello se estudió y se propuso realizar una caja distribuidora de caudales, para que el caudal se distribuya de una forma más eficiente a ambos sectores.

Figura 3. Esquema del sistema de conducción del pozo nro. 4 actual



Fuente: elaboración propia, realizado con Autocad 2020.

Figura 4. **Esquema del sistema de conducción del pozo nro. 4
propuesto**



Fuente: elaboración propia, realizado con Autocad 2020.

3.1.1. Población actual

La población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, según el Instituto Nacional de Estadística (INE) de Guatemala, en el censo poblacional del año 2018, es de 21,928 habitantes, con un promedio de personas por hogar de 5

habitantes y, según los cálculos que presenta el INE, la población para el año 2022 es de 27,061 habitantes.

El pozo nro. 4 abastece al primer y segundo cantón de la población, abasteciendo a un total de 6,980 habitantes, 1,396 viviendas.

3.1.2. Tasa de crecimiento poblacional

Para el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional se utilizó un periodo de 15 años con el método geométrico, utilizando los datos del INE.

Datos:

Po: población inicial año 2015 (24,780 habitantes)

Pf: población futura año 2030 (29,127 habitantes)

r: tasa de crecimiento (1.083 %)

n: periodo de diseño (15 años)

$$r = \left(\frac{pf}{Po}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 = \left(\frac{29,127}{24,780}\right)^{\frac{1}{15}} - 1 = 0.01083 = 1.083 \%$$

3.1.3. Población futura abastecida por el pozo nro. 4

Pa: población actual año 2022 (6980 habitantes)

Pf: población futura del año 2037

r: tasa de crecimiento (1.083 %)

n: periodo de diseño (15 años)

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

$$Pf = 6980(1 + 1.083\%)^{15}$$

$$Pf = 8204 \text{ habitantes}$$

3.1.4. Dotación de agua

Es la cantidad de agua asignada en un día a cada usuario. Se expresa en litros por habitante por día (l/hab./día). La cantidad de agua que llega en cada vivienda se obtuvo mediante una encuesta del primer y segundo cantón, obteniendo una cantidad de 364.34 litros por vivienda al día, lo cual sería 72.87 l/hab/día.

Se ha seleccionado una dotación de 120 litros/habitante/día, lo cual es lo recomendable para una población con un clima fresco templado.

Se estableció una dotación a cada usuario de 120 litros/habitante/día, lo cual es un consumo tipo domiciliar rural, según las normas de diseño de Unepar (Aguilar, 2007).

Tabla I. **Dotaciones indicadas en las normas de diseño de Unepar**

Descripción	Dotación (L/hab./día.)
Llenacántaros	15-40
Conexiones prediales	60-90
Conexiones domiciliarias en el área rural	90-150
Conexiones domiciliarias en el área urbana	150-250

Fuente: Aguilar (2007). *Apunte sobre el curso de ingeniería sanitaria 1.*

3.1.5. Caudal medio diario teórico actual

Es la cantidad de agua consumida por la población durante un día, la cual se obtiene como promedio de los consumos diarios en el periodo de un año, en el sistema de abastecimiento del pozo nro. 4, el cual se está analizando para la población actual de 6,980 habitantes.

Qmta: caudal medio diario teórico actual

Dot: dotación

Pact: población actual

$$Qmta = \frac{Dot * Pact}{86400}$$

$$Qmta = \frac{120 \frac{l}{hab} / día * 6980 hab}{86400}$$

$$Qmta = 9.69 Lts/seg$$

3.1.6. Caudal medio diario teórico futuro

Qmtf: caudal medio diario teórico futuro

Dot: dotación

Pf: población futura

$$Qmtf = \frac{Dot * Pf}{86400}$$

$$Qmtf = \frac{120 \frac{l}{hab} / día * 8204 hab}{86400}$$

$$Q_{mtf} = 11.39 \text{ Lts/seg}$$

3.1.7. Caudal máximo diario teórico actual

El caudal máximo diario es el máximo caudal producido en un día durante un periodo de observación de un año. Es el resultado de multiplicar el consumo medio diario por el factor de día máximo.

Qmdta: caudal máximo diario teórico actual.

Fd: factor de día máximo, 1.20 para poblaciones menos a 10,000 habitantantes.

Qmta: caudal medio diario teórico actual:

$$Q_{mdta} = fd * Q_{mta}$$

$$Q_{mdta} = 1.20 * 9.69 \text{ Lts/seg}$$

$$Q_{mdta} = 11.63 \text{ Lts/seg}$$

3.1.8. Caudal máximo diario teórico futuro

Qmdtf: caudal máximo diario teórico futuro

Fd: 1.20 para poblaciones de menos de 10,000 habitantantes

$$Q_{mdtf} = fd * Q_{mtf}$$

$$Q_{mdtf} = 1.20 * 11.39 \text{ Lts/seg}$$

$$Q_{mdtf} = 13.67 \text{ Lts/seg}$$

3.1.9. Caudal de bombeo teórico actual

Qbta: caudal de bombeo teórico actual

tb: tiempo de bombeo

Qmdta: caudal máximo diario teórico actual

$$Qbta = \frac{Qmdta * 24}{tb}$$

$$Qbta = \frac{11.63 * 24}{16 \text{ hrs}}$$

$$Qbta = 17.45 \text{ Lts/seg}$$

3.1.10. Caudal de bombeo teórico futuro

Qbtf: caudal de bombeo teórico futuro

Qmdtf: caudal máximo diario teórico futuro

tb: tiempo de bombeo

$$Qbtf = \frac{Qmdtf * 24}{tb}$$

$$Qbtf = \frac{13.67 * 24}{16 \text{ hrs}}$$

$$Qbtf = 20.51 \text{ Lts/seg}$$

3.1.11. Caudal de bombeo real

El caudal real aforado en la boca del pozo nro. 4 tiene un promedio de 21.58 Lts/seg, al llegar al rebombeo se aforó de nuevo teniendo un caudal de 19.08 Lts/seg.

Solamente se calculó la cantidad de caudal que llega al tanque de distribución del bosque, ya que por la dificultad de acceso no se pudo ingresar. Es el siguiente:

Qbr: caudal de bombeo real

Pot: potencia = 60 Hp

Cdt: carga dinámica total = 223.18

e: eficiencia de la bomba

$$Qbr = \frac{Pot * 76 * e}{CDT}$$

$$Qbr = \frac{60 * 76 * 84 \%}{223.18}$$

$$Qbr = \frac{60 * 76 * 84 \%}{223.18}$$

$$Qbr = 17.16 \text{ Lts/seg}$$

3.1.12. Caudal máximo diario real

Con el caudal que llega al tanque de distribución se puede calcular la dotación teórica para la población, conociendo los datos de caudal de bombeo y tiempo de bombeo, que se calcula despejando la siguiente ecuación:

Tb: tiempo de bombeo del sistema = 19 horas

Qmdr: caudal máximo diario real

Qbr: caudal de bombeo real

$$Qmdr = \frac{Qb * Tb}{24}$$

$$Qmdr = \frac{17.16 \frac{Lts}{seg} * 19 hrs}{24}$$

$$Qmdr = 13.59 Lts/seg$$

3.1.13. Caudal medio diario real

Qmdr: caudal máximo diario real.

Qmr: caudal medio diario real.

Fd: factor de día máximo, 1.20 para poblaciones de menos de 10,000 habitantes:

$$Qmr = \frac{Qmdr}{Fd}$$

$$Qmr = \frac{13.59 Lts/seg}{1.20}$$

$$Q_{mr} = 11.33 \text{ Lts/seg}$$

3.1.14. Dotación actual real

Dotr: dotación actual real

Qmdr: caudal máximo diario real

Pact: población actual

$$Dotr = \frac{Q_{mr} * 86400}{Pact}$$

$$Dotr = \frac{11.33 \text{ Lts/seg} * 86400}{6980 \text{ habitantes}}$$

$$Dotr = 140.25 \text{ Lts/hab/dia}$$

3.2. Análisis de la carga dinámica total del sistema de línea de conducción del pozo nro. 4

La carga dinámica total para una bomba sumergible se calcula tomando en cuenta estas pérdidas de carga:

- La altura del nivel dinámico al nivel de la boca del pozo.
- Las pérdidas de carga en tubo de columna utilizando la fórmula de Hazen & Williams (pérdida por succión).
- La altura de la boca del pozo a la descarga.

- Las pérdidas de carga en la línea de impulsión, usando Hazen & Williams.
- La carga de velocidad ($v^2 / 2g$). Las pérdidas menores son el 10 % de la pérdida de carga en la línea de impulsión.

3.2.1. Análisis de carga dinámica total de pozo nro. 4 a tanque de rebombeo del sistema actual

El análisis de carga dinámica total en la red de conducción del pozo nro. 4 a rebombeo del sistema actual es la suma de las pérdidas de carga que se producen en el sistema, estas se crean una vez que el fluido empieza a desplazarse, para de esta forma determinar si el agua llega a alcanzar la altura necesaria en el tanque de rebombeo con el aporte que genera la bomba.

3.2.1.1. Pérdida por succión

Es la pérdida de carga que se produce en el tubo de succión de la profundidad del pozo.

Donde:

H_fs: pérdida de carga por succión

L: longitud (213.36m)

Q: caudal (17.45 l/s)

C: coeficiente de rugosidad de tubería PVC según años de uso (140)

D: diámetro interno de tubería (5.845 pulg)

$$H_{fs} = \frac{1743.811 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

$$Hfs = \frac{1743.811 * 213.36 * 17.45^{1.85}}{140^{1.85} * 5.845^{4.87}}$$

$$Hfs = 1.46 \text{ m}$$

3.2.1.2. Pérdida por velocidad

Es la pérdida de carga que se produce en la tubería por la velocidad del agua.

Donde:

Hfv: pérdida de carga por velocidad

V: velocidad (1 m/s)

g: gravedad (9.81 m/s²)

$$Hfv = \frac{V^2}{2g}$$

$$Hfv = \frac{(1.00)^2}{2(9.81)}$$

$$Hfv = 0.05 \text{ m}$$

3.2.1.3. Pérdidas en la línea de impulsión

Las pérdidas de carga en la línea de impulsión se calculan usando Hazen & Williams

Donde:

Hfi: pérdida de carga en la línea de impulsión.

L: longitud (662.28m).

Q: caudal (18.01 l/s).

C: coeficiente de rugosidad de tubería PVC en años de uso (140), en este caso se utilizó un coeficiente menor al que generalmente se utiliza de 150, debido a los años de uso y el desgaste que presenta.

D: diámetro interno de tubería (5.845 pulg).

$$Hfi = \frac{1743.811 * L * Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$$

$$Hfi = \frac{1743.811 * 662.28 * 17.45^{1.85}}{140^{1.85} * 5.845^{4.87}}$$

$$Hfi = 4.52 \text{ m}$$

3.2.1.4. Pérdidas menores

Las pérdidas menores son el 10 % de la pérdida de carga en la línea de impulsión.

Donde:

Hfi: pérdida de carga en la impulsión

Hfm: pérdida de cargas menores

$$Hfm = Hfi * 10\%$$

$$Hfm = 4.79\text{m} * 10\%$$

$$Hfm = 0.45 \text{ m}$$

3.2.1.5. Altura de bomba

Es la altura del nivel de la boca del pozo hacia la parte interna de la perforación del pozo.

Donde:

Hb: altura de la bomba

$$Hb = 174.65 \text{ m}$$

3.2.1.6. Altura del pozo al tanque

Es la altura de la boca del pozo al tanque de rebombeo.

Donde:

Hbpt: altura de boca del pozo al tanque (m):

$$Hbpt = 42.06 \text{ m}$$

3.2.1.7. Carga dinámica total y aporte de la bomba

La carga dinámica total desde la altura de la bomba dentro del pozo hasta la descarga del agua en el tanque de rebombeo es la siguiente:

Donde:

Cdt: carga dinámica total (m)

$$Cdt = Hfs + Hfv + Hfm + Hfi + Hb + Hbpt$$

$$Cdt = 1.46\text{m} + 0.05\text{m} + 0.45\text{m} + 4.52\text{m} + 174.65\text{m} + 42.06\text{m}$$

$$Cdt = 223.18 \text{ m}$$

Con el código que aparece en la etiqueta de la bomba que se está utilizando en el actual sistema se verificó en el catalogo industrial sumergible de la marca Franklin, para conocer el aporte de la bomba. Se determina una carga de 230 metros para la primera bomba y de 244 metros de la segunda de rebombeo.

Figura 5. Rendimiento de bombas sumergibles inoxidables

Tabla de Rendimiento Serie SSI 6"

GPM	Descarga	HP	Etapas	Diam Motor	Flujo (Caudal)													Modelo	No. de Parte
					Carga en Metros														
					LPM	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300			
					GPM	75	105	131	158	184	211	237	263	289	316	342			
260						-	-	-	-	-	42	40	38	36	-	-	260SSI10F66-0364	616420302040082	
						-	-	-	-	-	58	50	47	42	-	-	260SSI15F66-0464	616420402040082	
						-	-	-	-	-	70	65	60	58	-	-	260SSI15F66-0564	616420502040082	
						-	-	-	-	-	84	83	78	63	-	-	260SSI20F66-0664	616420602040082	
						-	-	-	-	-	99	96	81	79	-	-	260SSI25F66-0764	616420702040082	
						-	-	-	-	-	110	102	99	84	-	-	260SSI25F66-0864	616420802040082	
						-	-	-	-	-	140	136	120	110	-	-	260SSI30F66-1064	616421002040082	
						-	-	-	-	-	180	164	159	140	-	-	260SSI40F66-1364	616421302040082	
		4" NPT			6"	-	-	-	-	-	220	210	196	178	-	-	260SSI50F66-1664	616421602040082	
						-	-	-	-	-	261	244	230	204	-	-	260SSI60F66-1964	616421902040082	
300						-	-	-	-	-	-	-	43	42	40	38	300SSI15F66-0464	616600402020082	
						-	-	-	-	-	-	-	68	65	60	54	300SSI20F66-0664	616600602020082	
						-	-	-	-	-	-	-	80	78	64	60	300SSI25F66-0764	616600702020082	
						-	-	-	-	-	-	-	102	99	90	78	300SSI30F66-0964	616600902020082	
						-	-	-	-	-	-	-	140	134	119	104	300SSI40F66-1264	616601202020082	
						-	-	-	-	-	-	-	161	156	139	120	300SSI50F66-1464	616601402020082	
						-	-	-	-	-	-	-	200	183	168	148	300SSI60F66-1764	616601702020082	

Fuente: Franklin (s.f.). *Catálogo industrial sumergible*.

La figura muestra la carga en metros, el flujo de caudal necesario, los caballos de fuerza y etapas de la bomba. Los metros por columna de agua que llegan al tanque de rebombeo resultan de la resta entre el aporte que genera la bomba y las pérdidas de carga en el sistema.

Donde:

M.C. A = metros por columna de agua

$$M.C.A = 230m - 223.18m = 6.82$$

Tabla II. Pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción actual

Est.	P.O.	Cota (m)	Longitud de diseño (m)	Diámetro nominal (pulg)	Tipo tubería	C	QB (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)	Cota piezométrica (m)	Piezometrica con bomba (m)	Cota piezométrica con bomba (m)
	5	958.33	213.36			140	17.45		bomba			
5	9	957.03	44.67	6	pvc	140	17.45	1.01	0.30	958.03	54.39	1011.42
9	10	956.18	24.40	6	pvc	140	17.45	1.01	0.17	957.86	55.07	1011.25
10	11	954.98	44.34	6	pvc	140	17.45	1.01	0.30	957.56	55.97	1010.95
11	12	954.30	24.10	6	pvc	140	17.45	1.01	0.16	957.40	56.49	1010.78
12	13	953.15	46.64	6	pvc	140	17.45	1.01	0.32	957.08	57.32	1010.47
13	14	952.47	37.46	6	pvc	140	17.45	1.01	0.26	956.82	57.74	1010.21
14	15	951.43	31.37	6	pvc	140	17.45	1.01	0.21	956.61	58.57	1010.00
15	16	951.01	33.25	6	pvc	140	17.45	1.01	0.23	956.38	58.76	1009.77
16	17	951.33	27.06	6	pvc	140	17.45	1.01	0.18	956.19	58.26	1009.58
17	18	951.79	33.22	6	pvc	140	17.45	1.01	0.23	955.97	57.56	1009.36
18	19	952.72	47.19	6	pvc	140	17.45	1.01	0.32	955.65	56.31	1009.04
19	20	954.32	34.80	6	pvc	140	17.45	1.01	0.24	955.41	54.48	1008.80
20	21	961.62	55.91	6	pvc	140	17.45	1.01	0.38	955.03	46.80	1008.42
21	22	965.44	35.52	6	pvc	140	17.45	1.01	0.24	954.78	42.73	1008.17
22	23	971.01	22.45	6	pvc	140	17.45	1.01	0.15	954.63	37.01	1008.02
23	24	979.33	76.05	6	pvc	140	17.45	1.01	0.52	954.11	28.18	1007.50
24	28	1000.39	43.83	6	pvc	140	17.45	1.01	0.30	953.81	6.82	1007.21

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción actual

Balance de Pérdidas	Cargas (m)
Pérdida por Succión	-1.46
Pérdida por velocidad	-0.05
Pérdidas menores	-0.45
Pérdidas en línea de impulsión	-4.52
Altura de bomba	-174.65
Altura del pozo a tanque de rebombeo	-42.06
Aporte bomba sumergible 1	230.00
Metros columna de agua a la que llega al tanque	6.82

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Análisis de carga dinámica total de pozo nro. 4 a tanque de rebombeo, proyección para el año 2037

Se realizó una proyección de la carga dinámica total del pozo nro. 4 al tanque de rebombeo para el año 2037, con el objetivo de evaluar si el equipo de bombeo es capaz de elevar el agua con el aporte que genera, tomando en consideración las condiciones de población futura, ya que va en aumento.

Tabla IV. Pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037

Est.	P.O.	Cota (m)	Longitud de diseño (m)	Diámetro nominal (pulg)	Tipo tubería	C	QB (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)	Cota piezométrica (m)	Piezometrica con bomba (m)	Cota piezométrica con bomba (m)
	5	958.33	213.36			140	20.51		bomba			
5	9	957.03	44.67	6	pvc	140	20.51	1.19	0.41	957.92	53.60	1010.63
9	10	956.18	24.40	6	pvc	140	20.51	1.19	0.22	957.70	54.22	1010.40
10	11	954.98	44.34	6	pvc	140	20.51	1.19	0.41	957.29	55.01	1009.99
11	12	954.30	24.10	6	pvc	140	20.51	1.19	0.22	957.07	55.48	1009.77
12	13	953.15	46.64	6	pvc	140	20.51	1.19	0.43	956.64	56.20	1009.34
13	14	952.47	37.46	6	pvc	140	20.51	1.19	0.34	956.29	56.53	1009.00
14	15	951.43	31.37	6	pvc	140	20.51	1.19	0.29	956.00	57.28	1008.71
15	16	951.01	33.25	6	pvc	140	20.51	1.19	0.31	955.70	57.39	1008.40
16	17	951.33	27.06	6	pvc	140	20.51	1.19	0.25	955.45	56.83	1008.15
17	18	951.79	33.22	6	pvc	140	20.51	1.19	0.31	955.14	56.06	1007.85
18	19	952.72	47.19	6	pvc	140	20.51	1.19	0.43	954.71	54.69	1007.41
19	20	954.32	34.80	6	pvc	140	20.51	1.19	0.32	954.39	52.78	1007.09
20	21	961.62	55.91	6	pvc	140	20.51	1.19	0.51	953.87	44.96	1006.58
21	22	965.44	35.52	6	pvc	140	20.51	1.19	0.33	953.55	40.81	1006.25
22	23	971.01	22.45	6	pvc	140	20.51	1.19	0.21	953.34	35.04	1006.05
23	24	979.33	76.05	6	pvc	140	20.51	1.19	0.70	952.64	26.02	1005.35
24	28	1000.39	43.83	6	pvc	140	20.51	1.19	0.40	952.24	4.56	1004.95

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de pozo nro. 4 a rebombeo, del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037**

Balance de Pérdidas	Cargas (m)
Pérdida por Succión	-1.96
Pérdida por velocidad	-0.07
Pérdidas menores	-0.61
Pérdidas en línea de impulsión	-6.10
Altura de bomba	-174.65
Altura del pozo a tanque de rebombeo	-42.06
Aporte bomba sumergible 1	230.00
Metros columna de agua a la que llega al tanque	4.56

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Análisis de carga dinámica total del tanque de rebombeo al tanque del bosque del sistema actual

Se realizó el análisis de carga dinámica total del tanque de rebombeo al tanque del bosque del sistema actual, para conocer las pérdidas de carga en el sistema y determinar si el equipo de bombeo es capaz de elevar el agua hacia el tanque del bosque con el aporte que genera la bomba.

Tabla VI. Pérdidas de carga en línea de conducción de bomba sumergible 2, de rebombeo hacia tanque de distribución del bosque del sistema de conducción actual

Est.	P.O.	Cota (m)	Longitud de diseño	Diámetro nominal (pulg)	Tipo tubería	C	QB (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)	Cota piezométrica (m)	Piezométrica con bomba (m)	Cota piezométrica con bomba (m)
28		1000.39										
28	34	1031.59	34.61	6	hg	100	17.45	0.92	0.35	953.46	244.16	1275.75
34	37	1066.25	24.46	6	hg	100	17.45	0.92	0.25	953.21	199.21	1265.45
37	38	1080.23	7.41	6	hg	100	17.45	0.92	0.08	953.13	185.22	1265.45
38	41	1083.50	72.95	6	hg	100	17.45	0.92	0.74	952.39	181.95	1265.45
41	42	1106.38	34.70	6	hg	100	17.45	0.92	0.35	952.03	159.07	1265.45
42	43	1110.12	7.46	6	hg	100	17.45	0.92	0.08	951.96	155.33	1265.45
43	46	1110.20	48.07	6	hg	100	17.45	0.92	0.49	951.47	155.25	1265.45
46	48	1107.34	23.31	6	hg	100	17.45	0.92	0.24	951.23	158.11	1265.45
48	49	1115.86	29.82	6	hg	100	17.45	0.92	0.30	950.93	149.59	1265.45
49	50	1110.88	16.83	6	hg	100	17.45	0.92	0.17	950.75	154.57	1265.45
50	52	1104.06	15.17	6	hg	100	17.45	0.92	0.15	950.60	161.39	1265.45
52	53	1102.85	11.15	6	hg	100	17.45	0.92	0.11	950.48	162.60	1265.45
53	54	1104.61	26.59	6	hg	100	17.45	0.92	0.27	950.21	160.84	1265.45
54	55	1114.48	57.86	6	hg	100	17.45	0.92	0.59	949.62	150.97	1265.45
55	56	1111.07	18.27	6	hg	100	17.45	0.92	0.19	949.44	154.38	1265.45
56	60	1114.80	28.63	6	hg	100	17.45	0.92	0.29	949.14	150.65	1265.45
60	57	1121.73	25.25	6	hg	100	17.45	0.92	0.26	948.89	143.72	1265.45
57	58	1123.26	21.45	6	hg	100	17.45	0.92	0.22	948.67	142.19	1265.45
58	61	1166.10	213.74	6	hg	100	17.45	0.92	2.18	946.48	99.35	1265.45
61	62	1193.46	78.89	6	hg	100	17.45	0.92	0.81	945.68	71.99	1265.45
62	64	1209.45	58.30	6	hg	100	17.45	0.92	0.60	945.08	65.90	1275.35
64	65	1217.62	10.34	6	hg	100	17.45	0.92	0.11	944.98	57.63	1275.25
65	67	1231.95	108.80	6	hg	100	17.45	0.92	1.11	943.87	2.31	1234.25

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de rebombeo al tanque de distribución del bosque del sistema de conducción actual**

Balance de Pérdidas	Cargas (m)
Pérdida por Succión	0.00
Pérdida por velocidad	-0.04
Pérdidas menores	-0.15
Pérdidas en Línea de distribución	-9.95
Altura Pozo	0.00
Altura del rebombeo a Tanque del Bosque	-231.56
Aporte Bomba sumerable 2	244.00
Metros columna de agua sobre la tapa del tanque	2.31

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Análisis de carga dinámica total de rebombeo al tanque del bosque, proyección para el año 2037

Se realizó una proyección de la carga dinámica total del tanque de rebombeo hacia el tanque del bosque para el año 2037, con el objetivo de evaluar si el equipo de bombeo es capaz de elevar el agua con el aporte que genera, tomando en consideración las condiciones de población futura, ya que va en aumento.

Tabla VIII. Pérdidas de carga en línea de conducción de bomba sumergible 2 de rebombeo hacia tanque de distribución del bosque del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037

Est.	Po	Cota (m)	Longitud de diseño	Diámetro nominal (pulg)	Tipo tubería	C	QB (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida de carga (m)	Cota piezométrica (m)	Piezometrica con bomba (m)	Cota piezométrica con bomba (m)
28		1000.39										
28	34	1031.59	34.61	6	hg	100	20.51	1.08	0.48	951.76	244.22	1275.81
34	37	1066.25	24.46	6	hg	100	20.51	1.08	0.34	951.42	195.67	1261.92
37	38	1080.23	7.41	6	hg	100	20.51	1.08	0.10	951.32	181.69	1261.92
38	41	1083.50	72.95	6	hg	100	20.51	1.08	1.00	950.32	178.42	1261.92
41	42	1106.38	34.70	6	hg	100	20.51	1.08	0.48	949.84	155.53	1261.92
42	43	1110.12	7.46	6	hg	100	20.51	1.08	0.10	949.74	151.79	1261.92
43	46	1110.20	48.07	6	hg	100	20.51	1.08	0.66	949.08	151.72	1261.92
46	48	1107.34	23.31	6	hg	100	20.51	1.08	0.32	948.75	154.58	1261.92
48	49	1115.86	29.82	6	hg	100	20.51	1.08	0.41	948.34	146.05	1261.92
49	50	1110.88	16.83	6	hg	100	20.51	1.08	0.23	948.11	151.04	1261.92
50	52	1104.06	15.17	6	hg	100	20.51	1.08	0.21	947.90	157.85	1261.92
52	53	1102.85	11.15	6	hg	100	20.51	1.08	0.15	947.75	159.06	1261.92
53	54	1104.61	26.59	6	hg	100	20.51	1.08	0.37	947.38	157.31	1261.92
54	55	1114.48	57.86	6	hg	100	20.51	1.08	0.80	946.59	147.44	1261.92
55	56	1111.07	18.27	6	hg	100	20.51	1.08	0.25	946.34	150.85	1261.92
56	60	1114.80	28.63	6	hg	100	20.51	1.08	0.39	945.94	147.12	1261.92
60	57	1121.73	25.25	6	hg	100	20.51	1.08	0.35	945.59	140.19	1261.92
57	58	1123.26	21.45	6	hg	100	20.51	1.08	0.30	945.30	138.66	1261.92
58	61	1166.10	213.74	6	hg	100	20.51	1.08	2.94	942.36	95.82	1261.92
61	62	1193.46	78.89	6	hg	100	20.51	1.08	1.09	941.27	68.46	1261.92
62	64	1209.45	58.30	6	hg	100	20.51	1.08	0.80	940.47	65.82	1275.27
64	65	1217.62	10.34	6	hg	100	20.51	1.08	0.14	940.32	57.51	1275.13
65	67	1231.95	108.80	6	hg	100	20.51	1.08	1.50	938.83	-1.22	1230.72

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Resumen de pérdidas de carga en línea de conducción de rebombeo a tanque de distribución del bosque del sistema de conducción futuro, proyección para el año 2037**

Balance de Pérdidas	Cargas (m)
Pérdida por Succión	0.00
Pérdida por velocidad	-0.06
Pérdidas menores	-0.20
Pérdidas en Línea de distribución	-13.41
Altura Pozo	0.00
Altura del pozo a Tanque del Bosque	-231.55
Aporte Bomba sumerible 1	244.00
Metros columna de agua sobre la tapa del tanque	-1.22

Fuente: elaboración propia.

3.3. Volumen en tanques de almacenamiento del sistema de conducción de pozo nro. 4

Las dimensiones del tanque de almacenamiento (tanque del bosque) del pozo nro. 4 tiene las siguientes medidas: 13.41m x 9 m y una profundidad de 3m, teniendo un volumen de 362.07 m³.

Las dimensiones de los tanques gemelos son las siguientes: 2.80m x14m y una profundidad de 3.40 metros, teniendo un volumen de 133.28 m³, luego se multiplica por dos, ya que son dos tanques con las mismas dimensiones, haciendo un volumen de tanques gemelos de 266.56 m³ y un volumen total de tanques de 628 m³.

3.3.1. Análisis del volumen de los tanques

Se recomienda utilizar los datos de la demanda real de la comunidad para establecer el volumen del tanque de distribución. De lo contrario, se considerará para su diseño el 25 a 40 % del caudal medio diario, en el caso de sistemas por gravedad, y de 40 a 65 % en sistemas por bombeo, entre los tanques de succión y distribución, justificándolo mediante un diagrama de masas. (INFOM, 2011)

Para analizar la capacidad del tanque de distribución del bosque y tanques gemelos se compara con el volumen compensador, debe estar entre un 40 % y un 65 % del volumen medio diario, por lo que se utilizó esta ecuación:

$$V_{comp} = 40\% \text{ a } 65\% * (V_{medio \text{ diario}})$$

$$\frac{9.69 \text{ lts}}{\text{seg}} * 86400 \text{ seg} = 837216 \text{ lts}$$

$$V_{comp} = 837216 \text{ lts} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 837.22 \text{ m}^3$$

$$V_{comp} = 837.22 \text{ m}^3 * 40\%$$

$$V_{comp} = 334.89 \text{ m}^3$$

$$V_{comp} < V_{TotTanques}$$

$$334.89 \text{ m}^3 < 628 \text{ m}^3$$

Nota: esto da como resultados un buen volumen de tanques de distribución, por lo que no hay necesidad de construir otros.

3.4. Diseño de línea de conducción por gravedad del sector Ramales

Las líneas de conducción por gravedad deberán diseñarse con el caudal máximo diario. Cuando se realizó el recorrido para obtener la topografía de la línea de conducción actual del sistema de abastecimiento del pozo nro. 4 se logró observar que en la línea existen 2 conexiones que sirven para abastecer a aproximadamente 40 viviendas del sector Ramales, esto genera que se pierda energía en el sistema de conducción, por lo que se propuso un diseño de conducción por gravedad específicamente para esta porción de la población.

Tabla X. **Datos de distancias horizontales para el diseño de línea de conducción por gravedad**

EST	COTA	DH	DH ACUMULADA
A	1227.5	0	0
B	1227	6	6
C	1225	20	26
D	1223	20	46
E	1218	20	66
F	1212	20	86
G	1205	20	106
H	1200	20	126
I	1194	20	146
J	1183	20	166
K	1170	20	186
L	1160	20	206
M	1152	20	226
N	1144	20	246
O	1133	20	266
P	1124	20	286

Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Población futura

Para la población futura del municipio se utilizó un periodo de 22 años con el método geométrico.

Datos:

Pa: población actual (200habitantes)

r: tasa de crecimiento (1.083 %)

n: periodo de diseño (22 años)

Cálculos:

$$Pf = Pa(1 + r)^n$$
$$Pf = 200(1 + 1.083\%)^{22}$$
$$Pf = 254 \text{ habitantes}$$

3.4.2. Caudal de diseño

Para el caudal de diseño en la línea de conducción se toma el caudal de día máximo.

Qm: caudal medio diario

Qdm: caudal día máximo

Dot: dotación

Pact: población actual

$$Qm = \frac{Dot * Pact}{86400 \text{ seg}}$$

$$Qm = \frac{120 * 254 \text{ hab}}{86400 \text{ seg}}$$

$$Qm = 0.35 \text{ lts/seg}$$

$$Qdm = 0.35 \frac{\text{lts}}{\text{seg}} * 1.20$$

$$Qdm = 0.42 \text{ lts/seg}$$

3.4.3. Cálculo de diámetros y pérdidas de energía

- Necesidad de una caja rompe-presión a tubo de alta presión.

Caja rompe-presión en estación K, H1= 57.50 m H2= 46.00 m

- Diámetro teórico (Hazen & Williams)

$$\text{Diámetro teórico} = DT1 = \left(\frac{1743.811 * L * 1.05 * Q^{1.85}}{C^{1.85} * H} \right)^{1/4.87}$$

$$DT1 = \left(\frac{1743.811 * 186 * 1.05 * 0.42^{1.85}}{150^{1.85} * 57.5} \right)^{1/4.87}$$

$$DT1 = 0.62 \text{ plg}$$

$$DT1 = 1.00 \text{ plg} = 1.20 \text{ plg}$$

Nota: se considera únicamente un diámetro debido a que el caudal es bajo y las pérdidas son pequeñas, por lo que no hay necesidad de utilizar dos diámetros.

- Pérdida de energía

$$HfDT1 = \left(\frac{1743.811 * 186 * 1.05 * 0.42^{1.85}}{150^{1.85} * 1.20^{4.87}} \right)$$

$$HfDT1 = 2.72m$$

- Diámetro teórico (Hazen & Williams) CRP en EST k

El procedimiento es el mismo para calcular las pérdidas del siguiente tramo:

$$DT2 = \left(\frac{1743.811 * 100 * 1.05 * 0.42^{1.85}}{150^{1.85} * 46} \right)^{1/4.87}$$

$$DT2 = 0.58 \text{ plg}$$

$$DT2 = 1.00 \text{ plg} = 1.20 \text{ plg}$$

Nota: se considera únicamente un diámetro debido a que el caudal es bajo y las pérdidas son pequeñas, por lo que no hay necesidad de utilizar dos diámetros.

- Pérdida de energía

$$HfDT2 = \left(\frac{1743.811 * 100 * 1.05 * 0.42^{1.85}}{150^{1.85} * 1.20^{4.87}} \right)$$

$$HfDT2 = 1.43 m$$

3.4.4. Volumen de tanque de distribución de línea de conducción por gravedad

Para analizar la capacidad del tanque de distribución de la línea de conducción por gravedad, se compara con el volumen compensador, debe estar entre un 25 % y un 40 %, ya que es un sistema por gravedad.

$$V_{comp} = 25 \% \text{ a } 40 \% * (V_{medio \text{ diario}})$$

$$\frac{0.35 \text{ lts}}{\text{seg}} * 86400 \text{ seg} = 30240 \text{ lts}$$

$$V_{comp} = 30240 \text{ lts} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lts}} = 30.24 \text{ m}^3$$

$$V_{comp} = 30.24 * 40\%$$

$$V_{comp} = 12 \text{ m}^3$$

Nota: se recomienda construir un tanque de distribución mayor a 12 m³ para el sector Ramales.

3.5. Caja distribuidora de caudales

La caja distribuidora de caudales se emplea para dividir el caudal en una, dos o más partes, dependiendo del número de comunidades o sectores a las que se les vaya a brindar el servicio. Poseen cámaras, divididas por una pantalla en la que se instalan los vertederos, que son los que distribuyen el agua.

La caja de distribución de caudales puede realizar otras funciones como servir de tanque de distribución. Lo anterior ocurre cuando uno de los ramales

que sale de la caja alimenta a un bajo número de viviendas, en ese caso puede ser necesario incrementar la capacidad de la caja, de acuerdo al número de usuarios. (Aguilar, 2007, p. 99)

3.5.1. Cálculo de vertederos dentro de caja distribuidora de caudales

Vertederos de crestas delgadas con contracciones.

- Cálculo de la altura h de agua sobre el vertedero para el caudal de agua de ingreso

Datos:

Q_{dmf} : caudal de día máximo teórico futuro

Q_{dm} : caudal de día máximo de línea de conducción por gravedad

H_V : altura de vertedero

Q ingreso: caudal de ingreso

L_1 : longitud de vertedero 1

L_2 : longitud de vertedero 2

Donde:

Q ingreso = $Q_{dmf} + Q_{dm}$

Q ingreso = $13.67 \text{ L/s} + 0.42 \text{ L/s} = 0.01409 \text{ m}^3/\text{s}$

H_V vertedero = ?

Ancho del vertedero = 1 metro

Se calcula la altura de la cresta mediante la ecuación:

$$HV = \left(\frac{Q}{1.84(L)}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$HV = \left(\frac{0.01409}{1.84(1)}\right)^{\frac{2}{3}} = 0.03885 \text{ m}$$

- Teniendo la altura de la cresta se calcula la longitud del vertedero para una pequeña cantidad de viviendas del sector del ramal que tiene un caudal máximo diario de 0.42 l/s:

Datos:

Q ingreso = 0.42 L/s = 0.00042 m³/s

HV vertedero = 0.03885 m

Ancho del vertedero = ?

$$L1 = \frac{Qmd}{1.84(HV)^{\frac{3}{2}}}$$

$$L1 = \frac{0.00042}{1.84(0.03885)^{\frac{3}{2}}} = 0.03 \text{ m}$$

- Para el segundo vertedero se tiene el resto del caudal de 13.67 L/s:

Datos:

Q ingreso = 13.67 L/s = 0.01367 m³/s

H vertedero = 0.03885 m

Ancho del vertedero = ?

$$L2 = \frac{Qmd}{1.84(h)^{\frac{3}{2}}}$$

$$L2 = \frac{0.01367}{1.84(0.03885)^{\frac{3}{2}}} = 0.97 \text{ m}$$

- Verificación

Para la verificación se tiene que observar que la longitud dada por L1 y L2 sea igual a la longitud o ancho del vertedero propuesto de 1 metro.

L1 = 0.03 longitud de vertedero 1

L2 = 0.97 longitud de vertedero 2

$$L = L1 + L2 = 0.03 + 0.97 = 1$$

4. BREVE ANÁLISIS DE LAS OTRAS CAPTACIONES

4.1. Horario de funcionamiento y capacidad de las bombas de los pozos mecánicos

A continuación se muestran los horarios de funcionamiento y capacidad de las bombas de los pozos mecánicos del sistema actual para el suministro de toda la población de Santa María de Jesús, Sacatepéquez.

Tabla XI. **Horario de funcionamiento y capacidad de las bombas de los pozos mecánicos**

Nro. Pozo mecánico	Horario de funcionamiento (ON -- OFF) Lunes a Domingo	Horas de funcionamiento	Capacidad de bomba
2 (japonés)	5am -4:30pm 7:30pm -4:00 am	20 horas	60 HP
3	8:30 am-5:30 pm 8:00 pm-4:00 am 5:00 am (Byron)	17 horas	60 HP
	5:00 am -4:30 pm 8:00 pm-4:00 am (Paulino)	19.5 horas	
4	3:30 am -4:00 pm 8:30 pm- 3:00 am	19 horas	60 Hp

Fuente: elaboración propia.

4.2. Volumen de tanques de captación

Es importante conocer el volumen de cada tanque de distribución para determinar si el volumen es el adecuado para la cantidad de población que va a suministrar.

Tabla XII. **Volumen de tanque de captación de cada pozo y mantenimiento**

Nro. Pozo mecánico	Tanque de captación (volumen)	Mantenimiento
2 (japonés)	372.33 m ³	anual
3	372.33 m ³	anual
4 (del bosque)	628 m ³	anual

Fuente: elaboración propia.

4.3. Aforo de caudal en la fuente de captación

Se realizó un aforo por el método volumétrico en cada fuente de captación, en este caso los 3 pozos mecánicos con un recipiente de 55 galones, promediando las mediciones tomadas.

Tabla XIII. **Medición de caudal por medio del método volumétrico de los pozos mecánicos, aforo en la fuente**

Nro. pozo mecánico	Método de aforo	Caudal promedio (gal/seg)	Caudal promedio (gal/min)	Caudal promedio (l/seg)	Caudal promedio (l/min)	Caudal promedio (m³/h)
2 (japonés)	Volumétrico	2.55	153	9.65	579.17	34.75
3	Volumétrico	4.17	250	15.77	946.35	56.78
4	Volumétrico	5.70	342	21.58	1294.61	77.68

Fuente: elaboración propia.

4.4. Aforo comparativo en la fuente y la capacidad de los distintos pozos mecánicos

Se realizó una tabla comparativa con la capacidad de las distintas fuentes de captación para conocer la eficiencia de trabajo de cada una y de los equipos de bombeo.

Tabla XIV. **Tabla comparativa de aforos de las fuentes de abastecimiento de agua de los pozos mecánicos y su capacidad según horas de operación**

Concepto	Pozo 2 (japonés)		Pozo 3		Pozo 4	
Volumen del recipiente	208.20	litros	208.2	litros	208.2	litros
	0.21	m ³	0.21	m ³	0.21	m ³
Tiempo de llenado	21.57	seg	13.2	seg	9.65	seg
	5.99E-03	h	3.67E-03	h	2.68E-03	h
Caudal de aforo	9.65	l/s	15.77	l/s	21.58	l/s
	34.75	m ³ /h	56.78	m ³ /h	77.68	m ³ /h
Horas de operación	20	h/día	18.25	h/día	19	h/día
Rendimiento del pozo/día	695.00	m ³ /día	1036.26	m ³ /día	1475.86	m ³ /día
Rendimiento del pozo/mes	20850.04	m ³ /mes	31087.68	m ³ /mes	44275.67	m ³ /mes

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a los resultados de la tabla XIV, se puede observar que el pozo número 2 tiene un tiempo de llenado del recipiente de 208.20 litros de 21.57 segundos, dando como resultado un caudal de 9.65 l/s (34.75 m³/h), el tiempo de llenado del pozo 3 es de 13.2 segundos con un caudal de 15.77 l/s (56.78 m³/h) y el pozo 4 con un tiempo de llenado de 9.65 segundos y un caudal de 21.58 l/s (77.68 m³/h).

El pozo mecánico 2 con ese rendimiento tiene la capacidad de beneficiar a 1158 familias según norma de Unepar (600 litros/vivienda/día), el pozo 3 beneficia a 1,727 familias y el pozo 4 puede beneficiar a 2,459 familias, dando

un resultado de viviendas de 5,344 familias o viviendas, tomando en cuenta que en el último censo poblacional en el municipio de Santa María de Jesús se contabilizó un total de 4,774 viviendas, teniendo este resultado se puede asumir que estas fuentes de agua están capacitadas para abastecer a un 100 % de la población general.

4.5. Aforo de caudal al final de la conducción

Se midió el caudal por medio de aforo volumétrico, al final de la conducción, con el fin de evaluar el funcionamiento del caudal en el recorrido de la red de conducción.

Tabla XV. **Medición de caudal por medio del método volumétrico en tanques de distribución, aforo al final de la conducción**

Tanque de distribución	Método de aforo	Caudal promedio (gal/seg)	Caudal promedio (gal/min)	Caudal promedio (l/seg)	Caudal promedio (l/min)	Caudal promedio (m3/h)
2 (japonés)	Volumétrico	1.68	101.08	6.38	382.62	22.96
3 Castellanos	Volumétrico	2.82	168.95	10.66	639.53	38.37
Rebombeo pozo 4	Volumétrico	5.04	302.47	19.08	1144.99	68.70

Fuente: elaboración propia.

4.6. Aforo comparativo al final de la conducción y la capacidad de los distintos pozos mecánicos

Se realizó una tabla comparativa con todos los aforos al final de cada red de conducción de los pozos mecánicos, para conocer la eficiencia de trabajo de cada uno de los pozos y equipos de bombeo.

Tabla XVI. **Cuadro comparativo de aforos de los tanques de abastecimiento de agua de los pozos mecánicos y su capacidad según horas de operación**

Concepto	Tanque (japonés)		Tanque (Castellanos)		Tanque (pozo 4)	
Volumen del recipiente	18.93	litros	18.93	litros	18.93	litros
	3.79E-03	m ³	3.79E-03	m ³	3.79E-03	m ³
Tiempo de llenado	2.97	seg	1.78	seg	0.99	seg
	8.25E-04	h	4.94E-04	h	2.75E-04	h
Caudal de aforo	6.38	l/s	10.66	l/s	19.08	l/s
	22.96	m ³ /h	38.37	m ³ /h	68.7	m ³ /h
Horas de operación	14	h/día	14	h/día	14	h/día
Rendimiento de la bomba/día	321.44	m ³ /día	537.18	m ³ /día	961.8	m ³ /día
Rendimiento de la bomba/mes	9643.2	m ³ /mes	16115.4	m ³ /mes	28854	m ³ /mes

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la tabla XVI, se puede observar que el tanque de distribución japonés tiene un tiempo de llenado del recipiente de 18.93 litros de 2.97 segundos, dando como resultado un caudal de 6.37 l/s (22.96 m³/h), el tiempo de llenado del tanque Castellanos es de 1.77 segundos con un caudal de 10.66 l/s (38.37 m³/h) y el tanque de distribución de pozo 4 con un tiempo de llenado de 0.99 segundos y un caudal de 19.08 l/s (68.70 m³/h).

El tanque japonés con ese rendimiento tiene la capacidad de beneficiar a 535 familias según norma de Unepar (600 litros/vivienda/día), el tanque Castellanos beneficia a 895 familias y el tanque de distribución de pozo 4 puede beneficiar a 1,603 familias, dando un resultado de 3,304 familias o viviendas, tomando en cuenta que en el último censo poblacional en el municipio de Santa María de Jesús se contabilizó un total de 4,774 viviendas. Teniendo este

resultado se puede asumir que estas fuentes de agua están capacitadas para abastecer a un 69 % de la población general.

4.7. Capacidad de los pozos mecánicos en el 2022

Se investigó la capacidad de cada pozo mecánico para conocer el funcionamiento interno y determinar si los niveles de agua se encuentran regulares, según el abatimiento que se produce cuando se pone en funcionamiento el equipo de bombeo.

Tabla XVII. **Cuadro comparativo de la capacidad de los equipos de bombeo, utilizado en la fuente de abastecimiento de agua 2022**

Descripción	Pozo japonés (2021)	Pozo 3 (2021)	Pozo 4 (2021)
Diámetro pozo (m)	0.20	0.20	0.20
Profundidad pozo (m)	211.84	198.00	213.36
Nivel estático (m)	91.44	80.00	76.20
Nivel dinámico (m)	121.92	110.00	106.68
Abatimiento (m)	30.48	30.00	30.48
Caudal de bombeo (m ³ /h)	34.75	56.78	77.68
Ubicación de la bomba (m)	209.09	190.00	174.65
Potencia de la bomba (Hp)	60.00	60.00	60.00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVII se puede observar diferencias importantes sobre que el equipo que ofrece mayor estabilidad es el del pozo 4, con capacidad hidráulica de 60 HP, tiene mayor capacidad de caudal, utilizando el 50 % de la perforación total su abatimiento es de 14.29 %.

El pozo 3 utiliza el 55 % de la perforación total, su abatimiento es del 15.15 % y el pozo japonés utiliza el 57.55 % de su perforación total, con un abatimiento de 14.39 %.

La verificación de los niveles es muy importante para el buen funcionamiento y cuidado del equipo de bombeo sumergible, con esto se evita el riesgo de trabajar sin agua o con una columna de agua muy por debajo de lo requerido para un adecuado desempeño, el que según normas no debe ser menor de 30.48 metros de columna de agua por encima de la bomba, o también verificar que no se halla producido un descenso brusco de niveles, los cuales pueden descender por movimientos telúricos, perforación de pozos nuevos cerca del área en la cual se encuentra este proyecto o la sobreexplotación de pozos aledaños.

En el pozo japonés se puede observar que el nivel de agua crítica está a 87.17 metros por encima de la bomba, el pozo nro. 3 a 80 metros y el pozo nro. 4 a 67.97 metros columna de agua, esto da a entender que los pozos pueden aumentar tanto su capacidad como el tiempo de producción.

4.8. Capacidad de los pozos mecánicos según la fecha de construcción

Es de suma importancia realizar una investigación del historial de las fuentes de captación para conocer cómo ha ido evolucionando con el paso del tiempo y tener conclusiones de su funcionamiento.

Tabla XVIII. **Cuadro comparativo de la capacidad de los equipos de bombeo utilizados en la fuente de abastecimiento de agua según la fecha de construcción**

Descripción	Pozo japonés (1994)	Pozo 4 (1985)
Diámetro pozo (m)	0.20	0.20
Profundidad pozo (m)	211.84	213.36
Nivel estático (m)	165.51	104.55
Nivel dinámico (m)	166.73	145.69
Abatimiento (m)	1.22	41.14
Caudal de bombeo (m ³ /h)	64.05	47.01
Ubicación de la bomba (m)	209.09	174.65
Potencia de la bomba (Hp)	60.00	60.00

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el cuadro comparativo de las capacidades de los equipos de bombeo de pozo japonés, este se terminó de construir en 1994, es de mucha importancia hacer el análisis de los niveles, especialmente los niveles estáticos, comparados con el año 2021 se puede apreciar que se generó un crecimiento del nivel freático de 74.07 metros, en cuanto al pozo nro. 4 se tiene un aumento del nivel estático de 28.35 metros en 36 años, esto indica que ha estado aumentando el nivel freático.

4.9. Coordenadas de pozos mecánicos

A continuación se muestran las coordenadas de cada fuente de captación con la altura correspondiente sobre el nivel del mar.

Tabla XIX. **Coordenadas y altura sobre el nivel del mar de los pozos mecánicos**

Nro. Pozo mecánico	Coordenadas en GMS	Coodenadas geográficas decimales		Coodenadas GTM		Altura de Pozo
		Longitud	Latitud	Longitud	Latitud	
2 (japonés)	N14° 29' 12.3" W90° 41' 45.4"	90.69593417	-14.4867453	-7398776192874.33	425113.265	1817 m
3	N14° 29' 20.1" W90° 41' 49.3"	90.69667472				1812 m
			-14.48893	-7446878712748.63	425233.86	
4	N14° 29' 21.9" W90° 41' 48.0"	90.69667472	-14.4894281	-7431728353809.84	425195.958	1806 m

Fuente: elaboración propia.

5. APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA POR MEDIO DE LA IDENTIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE RECARGA HÍDRICA

5.1. Contexto

Debido a la problemática en la deficiencia del servicio de agua potable y a que los pobladores no han estado conformes con el servicio, se contempló realizar un estudio hidrogeológico para conocer la ubicación de un nuevo pozo mecánico, para ello se debe conocer y delimitar el área de recarga hídrica, la cual es muy importante, ya que en esta misma área donde se realizó el estudio hidrogeológico se encuentran las fuentes de agua subterránea que suministran al municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, en este caso los pozos mecánicos existentes.

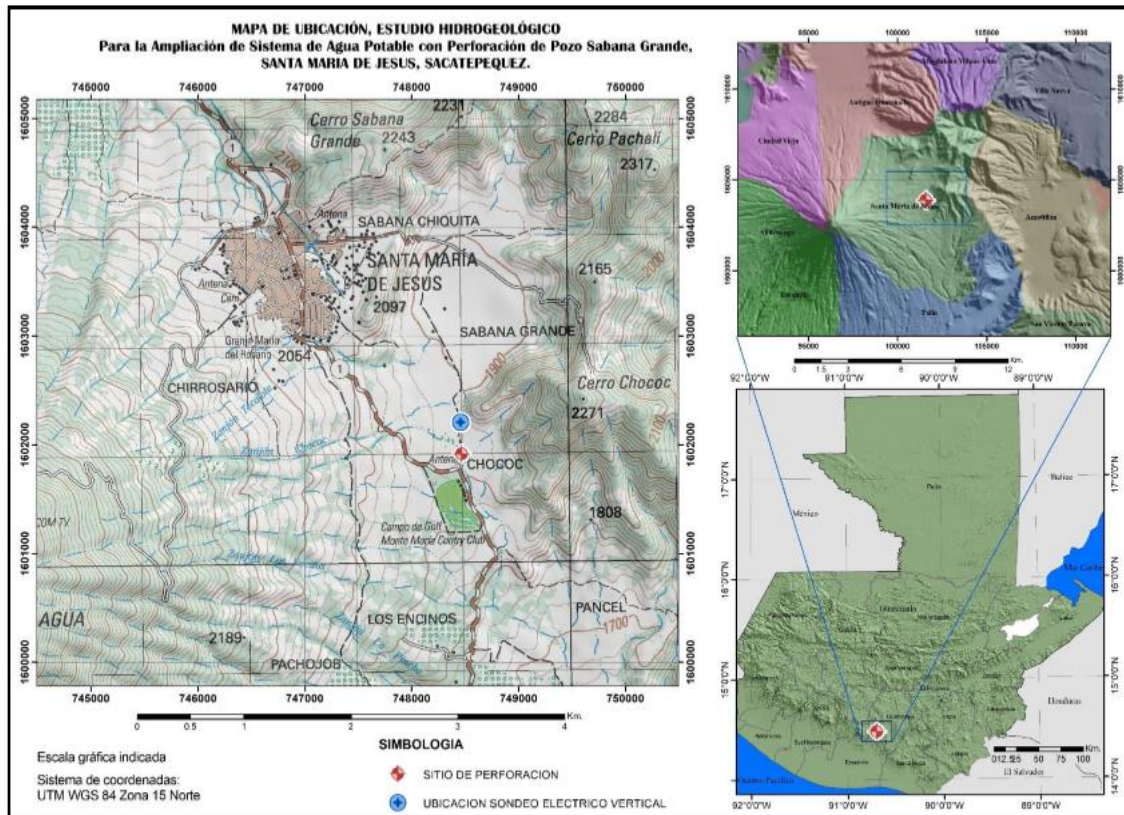
Es muy importante esta fase del estudio, ya que en la evaluación de la capacidad de las fuentes de agua se podrá determinar en los resultados finales si es necesario la perforación de un nuevo pozo mecánico con base en la producción de agua y si abastece a la población en general, estudiado esto se podrá dar seguimiento al aprovechamiento de las fuentes de agua por medio de las zonas de recarga hídrica, aplicando el estudio para perforar un nuevo pozo mecánico.

5.2. Localización del área de estudio

La zona de recarga hídrica donde se plantea el estudio y la perforación de un nuevo pozo se localiza dentro del área de influencia de los pozos

existentes que suministran agua potable al municipio de Santa María de Jesús, esta zona se localiza en la parte sureste de la cabecera municipal, en el sector Sabana Grande, en la parte del semivalle que colinda con Amatlán y como a 4 kilómetros de la cabecera municipal. En la siguiente figura se encuentra la localización del área de interés, así como las vías de acceso a la misma.

Figura 6. **Mapa de ubicación, estudio hidrogeológico**



Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

5.3. Climatología e hidrología local

En la zona de estudio se mostrará el análisis de los parámetros hidrometeorológicos, así como la dinámica de la zona de recarga hídrica de los probables acuíferos.

Cuando se habla de hidrografía es muy importante destacar que contribuye a la formación y preservación del agua subterránea por medio de la infiltración, ya que el agua subterránea es un recurso que se forma a partir de la cantidad de lluvia precipitada en una cuenca. Pero el total del agua precipitada en su totalidad no va directamente a la recarga de los acuíferos, ya que un porcentaje escurre como caudal de superficie, otro porcentaje se evapora y otro se infiltra y alimenta las capas subsuperficiales y profundas del suelo.

La recarga hídrica de la cuenca del área estudiada es producida gracias al tipo de geología superficial, del uso de la cuenca, de las condiciones topográficas y principalmente por la cantidad de lluvia caída en la zona.

En cuanto a los aspectos hidrográficos de la cuenca en estudio, los componentes principales se describen de la siguiente manera. En el mapa nro. 5 se muestra la red hidrografía de la zona de interés. En la red de drenaje se observa la respuesta del relieve terrestre a transportar parte del agua precipitada y que busca los puntos más bajos topográficos.

Las cuencas más involucradas en el área de estudio son las de las redes hidrográficas y varias quebradas que circundan el área y que, por la propia topografía del terreno, drenan hacia las partes más bajas de la zona de estudio, todo esto favorece a las zonas de recarga hídrica, ya que existe una zona

montañosa que posee potencial de escurrimiento alto por su pendiente. (Villatoro, Arias y Monterroso, 2020)

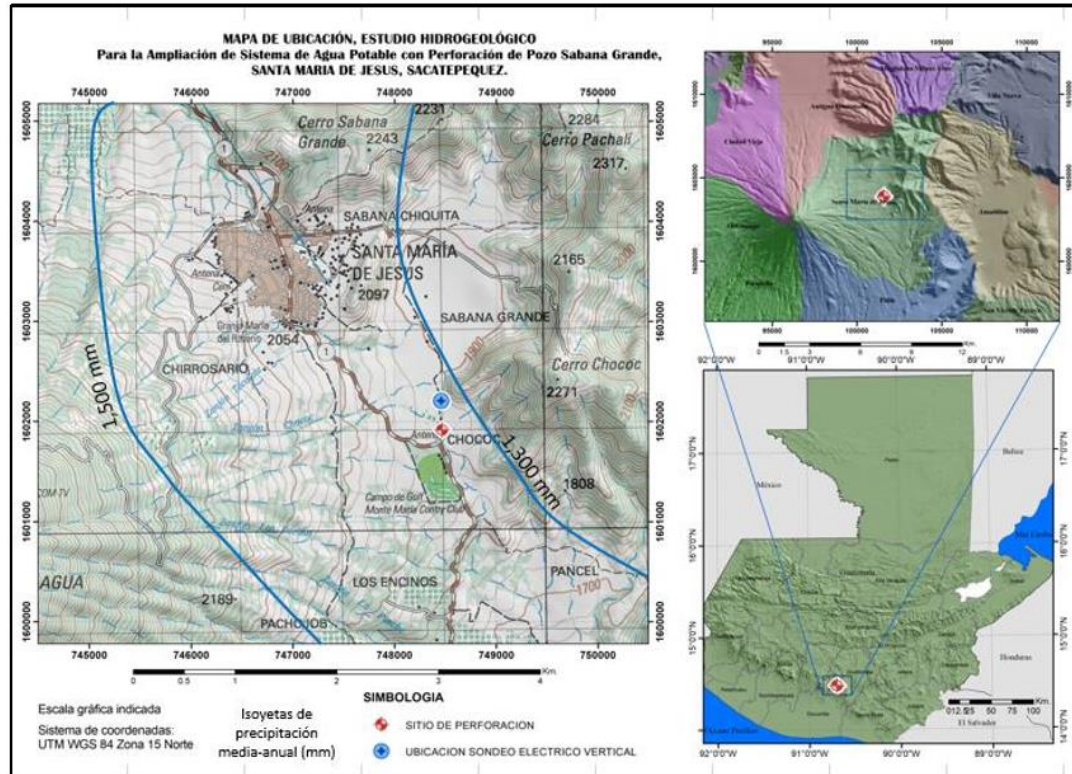
5.4. Precipitación

Para el análisis de precipitación se contó con información de la estación hidrométrica más cercana al municipio, en este caso la estación el Recuerdo, Patzicía. Con base en la estación mencionada se determina que la lámina de agua que cae en promedio en la zona es de aproximadamente 1,400 y 1,600 mm de promedio anuales.

Se puede observar la distribución anual de la precipitación en la tabla nro. 19, donde los meses con mayor presencia de precipitación se encuentran de mayo a octubre, haciendo el mayor porcentaje del total precipitado con un 90 %, es decir que en estos meses se aprovecha y ocurre la mayor recarga hídrica de la zona de estudio y también el mayor escurrimiento que puede ser de infiltración o como aporte superficial a las siembras de los agricultores, ya que no se cuenta con fuentes superficiales. La época con menor presencia de precipitación son los meses de noviembre a abril, con solo un 10 % de precipitación, es decir la temporada más crítica del año.

La distribución temporal de la lluvia se observa en la siguiente figura. También se adjuntan valores de precipitación máxima anual y precipitación mínima anual, de acuerdo con los registros de la estación meteorológica.

Figura 7. Mapa de isoyetas y precipitación



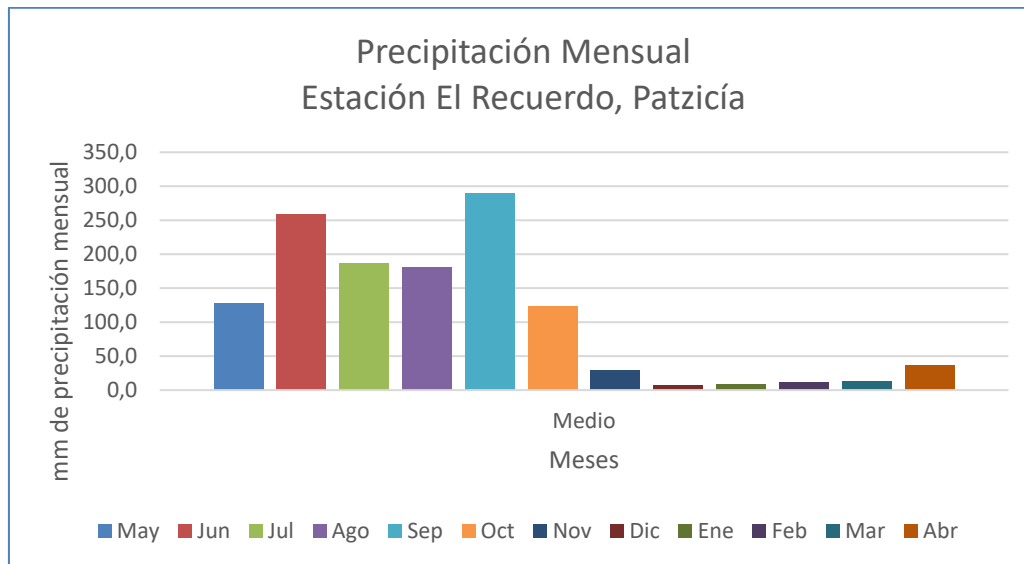
Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

Tabla XX. Precipitación anual

Valores	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Medio	127.8	258.8	186.6	180.4	289.9	123.1
Máximo	271.0	609.0	280.0	485.0	682.0	253.0
Mínimo	23.6	120.0	85.0	46.1	95.0	20.5
Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	Anual
28.8	7.7	7.9	10.8	13.1	36.0	1270.9
91.0	23.0	27.6	103.1	78.0	120.3	3023.0
1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	392.8

Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

Figura 8. **Gráfico de precipitación anual**



Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

5.5. Evapotranspiración

Cuando precipita no toda la lluvia se infiltra o se evapora, por ello se debe determinar la cantidad de lluvia efectiva, dentro de los cálculos se integra la variable temperatura, ya que esta tiene influencia en la evapotranspiración.

Se utilizarán los datos de la estación San Martín Jilotepeque para la zona de interés, ya que esta se encuentra ubicada al norte de la zona de influencia. Según los datos obtenidos de temperatura anual se puede estimar una temperatura promedio anual de 17.6 centígrados. Como se ha mencionado anteriormente en este trabajo, el cálculo de la evapotranspiración se realiza tomando en cuenta la temperatura y la precipitación en el área de influencia (Villatoro, 2020).

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron dos fórmulas: la de Turc y la de Thornthwaite. En la tabla nro. 20 se puede observar los cálculos de la evapotranspiración, que dieron como resultados los siguientes valores:

Turc: 4,000 milímetros anuales

Thornwaite: 12,000 milímetros anuales

Se puede observar que los valores obtenidos de la evapotranspiración son bajos en comparación de otras regiones, y esto es debido a que esta región es caracterizada por tener temperaturas bajas.

5.5.1. Ecuación de Turc

La ecuación de Turc da como resultado la evapotranspiración que se genera en mm/ anuales. Es la siguiente:

$$Evt = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Si $(P/L) < 0.316$, $Evt = P$

Donde:

Evt: evapotranspiración en mm/año

P: precipitación en mm, del año considerado

L: se expresa como:

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T: temperatura promedio anual en °C

5.5.2. Resultado de evapotranspiración

El resultado de la evapotranspiración considerando la temperatura y la precipitación es el siguiente:

$$L = 300 + 25(17.6) + 0.05(17.6)^3$$

$$L = 1012.59$$

$$EVT = \frac{1271}{\sqrt{0.9 + \frac{1271^2}{1012.59^2}}}$$

$$Evt = 807 \text{ mm/ anuales}$$

5.5.3. Evapotranspiración por medio de ecuación de Thothwaite

Se pueden medir la evapotranspiración por otros métodos, por ejemplo por medio de la ecuación de Thothwaite:

$$Et = 16\left(10\frac{T}{I}\right)^A$$

Donde:

Et: evapotranspiración en mm.

I: índice calórico, constante para la región dada, y es la suma de 12 índices i , donde i es función de la temperatura media normal mensual [$i = (t/5)^{1514}$].

T: temperatura media mensual (no normal) en oC.

A: exponente empírico, función de I.

$$A = (6.75 \times 10^{-7} I^3) - (7.71 \times 10^{-5} I^2) + (1.79 \times 10^{-2} I^1) + 0.49239$$

Indice calorico (I):

$$I = i_{ene} + i_{feb} + i_{mar} + \dots + i_{dic}$$

Tabla XXI. **Resultado de evapotranspiración por medio de la ecuación de Thorthwaite**

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T	16	17	18	19	20	18	18	18	17	17	17	16
i= (T/5)^{1.514}	5.8	6.4	7.0	7.5	8.2	7.0	7.0	7.0	6.4	6.4	6.4	5.8
I	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0	81.0
A	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
10³T/I	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0
ET (mm)	54	61	67	74	81	67	67	67	61	61	61	54
ET total (mm)	777 mm											

Nota: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

5.6. Balance hídrico

El estudio del balance hídrico, como su nombre lo menciona, es el balance que se produce entre lo precipitado, evaporado e infiltrado, y que se puede relacionar con lo que ingresa y lo que sale.

Tabla XXII. **Balance hídrico y precipitación efectiva**

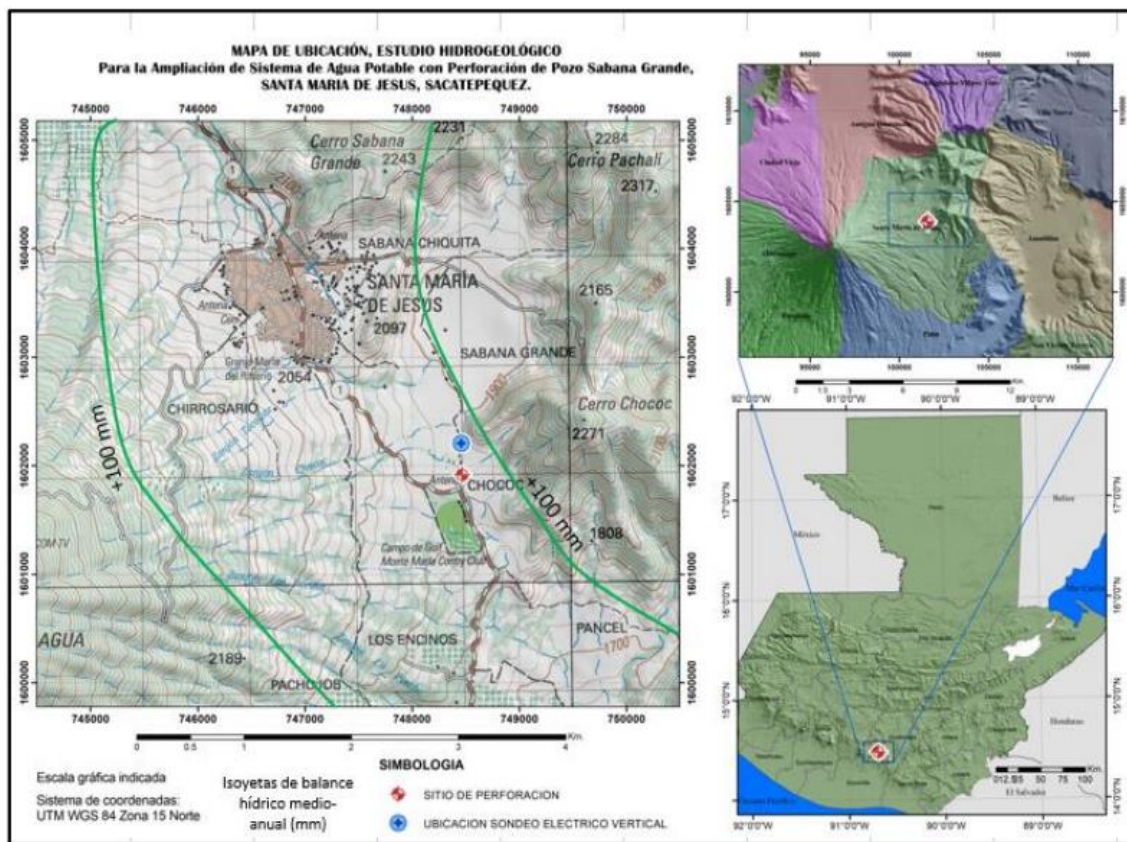
	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
P	127.8	258.8	186.6	180.4	289.9	123.1	28.8	7.7	7.9	10.8	13.1	36.0
ET	81	67	67	67	61	61	61	54	54	61	67	74
P-ET	46.4	191.5	119.3	113.1	229.1	62.3	-32.0	-46.8	-46.6	-50.0	-54.2	-38.2
R	46.4	125.0	125	125	125	125	93	46.2	0	0	0	0
VR	46.4	78.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-32.0	-46.8	-46.2	0.0	0.0	0.0
ETR	81	67	67	67	61	61	60.8	54.5	54.1	10.8	13.1	36.0

Continuación de la tabla XXII.

Faltante	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.02	0.38	49.97	54.25	38.23
Exceso	0.0	112.9	119.3	113.1	229.1	62.3	0	0	0	0	0	0
Desague	0	56.4	87.8	100.4	164.8	113.6	56.8	28.4	14.2	7.1	3.5	1.8
LLUVIA EFECTIVA	46	191	119	113	229	62	0	0	0	0	0	0

Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

Figura 9. Isoyetas de balance hídrico



Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

5.7. Infiltración y área de recarga hídrica

Con los resultados de los parámetros meteorológicos anteriores se puede observar que el valor de la precipitación anual promedio está entre 1,300 y 1,700 mm, si se analiza la evapotranspiración potencial se calculan valores entre 777 y 807 mm anuales.

Al analizar los datos obtenidos de precipitación y evapotranspiración de las tablas y cálculos, se puede concluir que se tiene un volumen de lluvia efectiva anual de 708 mm anuales, dando como resultado en el balance hidrológico un superávit anual de agua, ya que la precipitación anual es mayor que la de la evapotranspiración, pero no en todo el año se puede considerar un superávit, ya que en los meses secos (de noviembre a abril) se presenta un déficit de agua, específicamente el mes más crítico, que es marzo, con el más alto déficit, lamentablemente no toda la precipitación es infiltrada para la recarga de los acuíferos sino que es un porcentaje. Por ello se evaluará la capacidad de producción de agua de los pozos existentes en el mes de marzo como el mes más crítico, para conocer si abastece la demanda de la población.

Debido a que la zona de recarga hídrica se encuentra en un semivalle, delimitada por una zona montañosa, la morfología de la cuenca de influencia tiene pendientes fuertes y el potencial de infiltración es bastante alto (Villatoro, 2020)

5.8. Método para determinar zonas de recarga hídrica

Los sondeos geofísicos implementados fueron planteados para determinar la presencia de niveles o estratos de alta conductividad, los cuales pudieran coincidir con niveles saturados a profundidades y en espesores

adecuados para una explotación del recurso, por lo que se puede definir como un método para identificar zonas de recarga hídrica.

Este método se basa en la propiedad que tienen los suelos y rocas de la corteza terrestre de presentar resistencia al paso de una corriente eléctrica, la cual crea un campo electromagnético.

Para este caso, en el sector Sabana Grande se midió la intensidad de corriente que pasaba por el terreno a través de electrodos de alimentación y la diferencia de potencial entre los electrodos de recepción (Villatoro, 2020).

Debido a que el aprovechamiento de las fuentes de agua en Santa María de Jesús es subterráneo, no se cuenta con fuentes superficiales, y por la facilidad del área del terreno hay una homogeneidad en la litología, así que se realizó únicamente un levantamiento geofísico, conocido como sondeo eléctrico vertical, cuyo procedimiento se expone a continuación.

5.8.1. Métodos eléctricos (sondeo eléctrico vertical)

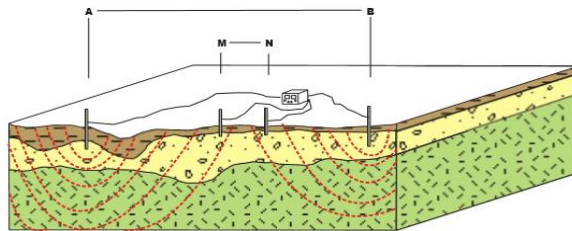
El método eléctrico y sus aplicaciones consisten básicamente en la medición simultánea de diferencia de voltaje (ΔV) por medio de los electrodos de medición (M-N). La fuente de energía utilizada es la corriente emitida por los electrodos de emisión (A-B). Los resultados esperados son presentados en términos de cambios de resistividad eléctrica (Δn) en el subsuelo.

Debido a que la presencia de materiales que faciliten la conducción eléctrica o electrolitos (e.g. agua) puede afectar drásticamente las propiedades eléctricas de las formaciones geológicas, los métodos eléctricos poseen

especial relevancia en la exploración de acuíferos, contactos estratigráficos y minerales metálicos.

En este caso, la modalidad de métodos eléctricos que se aplica es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV). Un SEV consiste en un arreglo geométrico, que permite obtener un perfil de profundidad vs. resistividad aparente, los cual es interpretable en términos de una distribución de estratos bajo el centro del SEV (Villatoro, 2020).

Figura 10. **Representación gráfica de sondeo eléctrico vertical**



Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

5.9. Hidrogeología regional del área de estudio

En la zona de estudio se pueden encontrar materiales volcánicos que están depositados en la superficie, entre ellos están piroclásticos y lahares, este tipo de material tiene como principal características la porosidad y permeabilidad de intersticios, los cuales pueden llegar a alcanzar extensiones considerables, horizontalmente pueden extenderse algunas centenas de kilómetros cuadrados y verticalmente pueden alcanzar 300 metros de profundidad. Todas estas condiciones permiten una continuidad hidrogeológica bastante importante.

Por las características de estos materiales la estructura puede contener acuíferos someros, que son formados dentro de los primeros 200 metros, que están delimitados por los barrancos, formados a consecuencias de los cauces profundos y acuíferos profundos que están entre 200 y 300 metros, medidos desde la superficie. (Villatoro, 2020)

5.10. Las formaciones permeables e impermeables

Como se podrá notar, tanto en la zona de localización de los terrenos del sector Sabana Grande, como en las áreas cercanas a la misma, los mayores caudales se localizan a profundidades mayores de los 700 pies, esto se concluye con base en las secciones hidrogeológicas realizadas a nivel regional analizadas con la finalidad de tener la certeza de localización de los caudales óptimos para los fines que se pretende (Villatoro, 2020).

5.11. Características hidrogeológicas de los acuíferos

De acuerdo con los elementos geomorfológicos, estructurales e hidrogeológicos que se han analizado en la zona, pueden distinguirse las principales unidades, principalmente las que potencian el agua subterránea:

Formaciones con estructura granular suelta, porosidad y permeabilidad de intersticios, compuesta principalmente por sedimentos y depósitos cuaternarios: sedimentos piroclásticos y lapilli. Formaciones consolidadas, con porosidad y permeabilidad por fisuras y fracturas, compuestas por lahares, tobas y flujos de lavas, cuaternarios y terciarios, y, según los eventos tectónicos que han sufrido, así han permitido la fisuración y fracturación. Estas unidades pueden presentarse en forma más o menos continua, existiendo de acuerdo con la densidad y tipo de fracturación, especialmente con su grado de abertura

y situación en relación a la recarga, zonas más susceptibles a una mayor potencialidad de almacenamiento y circulación del agua subterránea (Villatoro, 2020).

6. METODOLOGÍA

6.1. Estrategia de recolección de datos

La selección del proyecto a utilizar es a conveniencia, ya que se tiene la facilidad de acceso y la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado, tomando en cuenta cualquier otra especificación práctica de un elemento particular.

El investigador elige a los miembros solo por su proximidad y no considera si realmente estos representan muestra representativa de toda la población o no. Cuando se utiliza esta técnica, se pueden observar hábitos, opiniones y puntos de vista de manera más fácil. Los investigadores utilizan técnicas de muestreo en situaciones en las que hay grandes poblaciones para ser evaluadas, ya que, en la mayoría de los casos, es casi imposible realizar pruebas a toda una población. (QuestionPro, 2020)

6.2. Recopilación de Información

Las fuentes de información utilizadas en el estudio son de origen primario. A nivel primario se realizaron entrevistas a los pobladores sobre la cantidad de agua que recolectan en las horas de servicio y otras preguntas en relación al agua potable para estimar una dotación actual y compararlas con la capacidad de producción de las fuentes de agua, estimando una dotación adecuada.

También se realizaron entrevistas a los guardianes de los pozos mecánicos para conocer el horario de funcionamiento y evaluar la capacidad de producción en metros cúbicos al día, por medio de los aforos y el horario de funcionamiento de las bombas, ya que ellos son encargados de controlar el horario de operación de las bombas de los pozos mecánicos y de los rebombes para los tanques de distribución.

6.3. Fuentes de abastecimiento

Se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensiones de las fuentes

Se determinó la profundidad total de cada pozo mecánico consultando a los guardianes, ya que en julio y diciembre del año 2020 se efectuaron cambios de bombas para el pozo nro. 3 y pozo nro. 4, por lo que se extrajeron todos los tubos contabilizando un total de 33 y 36 tubos, respectivamente, dando una profundidad de 198 y 216 metros.

Así mismo se obtuvo la información de profundidad de los pozos mecánicos mediante los perfiles litológicos del pozo japonés y el pozo nro. 4.

Se evaluaron de acuerdo al comportamiento del nivel estático y del nivel dinámico para conocer la capacidad.

- Capacidad de las fuentes

Se realizó el aforo de las fuentes en los tanques de captación donde desfoga el caudal de cada sistema, de acuerdo al procedimiento volumétrico,

utilizando un recipiente con un volumen de 208.20 litros, y se procedió a tomar lecturas del tiempo de llenado.

6.4. Capacidad de los equipos de bombeo

Los datos del equipo de bombeo de los pozos mecánicos 3 y 4 se obtuvieron de la placa y del sello del equipo durante la instalación, ya que se cambiaron en julio y en diciembre del 2020. Los datos del equipo de bombeo del pozo 2 se obtuvieron por medio de la información registrada que poseen los encargados del control de las bombas. Con la información de la placa y sello de los equipos de bombeo se investigó en el catálogo de Franklin el modelo para conocer la eficiencia, el aporte de la bomba, flujo de caudal, las etapas de la bomba y todas las características para conocer su funcionamiento.

- Horas de operación de los equipos de bombeo

Las horas de operación de los equipos de bombeo fueron recabadas por medio de entrevistas a los encargados del control de horario de funcionamiento de las bombas y para comprobar los datos se realizaron visitas para observar la operación del sistema. Cabe resaltar que el horario de operación de las bombas tiene un rango de tiempo de atraso o anticipación, ya que en el mismo tanque de captación se descargan 2 fuentes de aguas: el pozo 2 y pozo 3, por lo que existen 2 rebombes hacia 2 tanques de distribución, que son el tanque japonés y Castellanos, por lo cual los fontaneros que están a cargo de supervisión de los tanques de distribución mandan señal hacia los encargados de las bombas de los pozos mecánicos para que se apaguen, ya que el nivel del agua llega a la cota máxima de los tanques de distribución, por lo cual se hizo un promedio de horario con mayor incidencia.

6.5. Tanques de distribución y de captación

Deben considerarse los siguientes aspectos:

- Volumen de tanques de distribución y de captación

El volumen de los tanques de almacenamiento y de captación se determinó por medio de visitas de campo, realizando mediciones con cinta métrica (ancho, largo y altura), para conocer la capacidad de almacenamiento, ya que la municipalidad no posee ningún archivo e información sobre el sistema completo de distribución de agua potable.

6.6. Topografía

Se realizó un levantamiento topográfico desde la boca del pozo nro. 4, pasando por el rebombeo hasta el tanque de distribución de concreto, con el fin de ubicar la línea de conducción para lograr establecer alturas, pendientes, curvas de nivel y secciones para la realización de un estudio hidráulico, y evaluar si realmente se está aprovechando el agua y si la deficiencia del servicio de agua se debe a un mal manejo del agua en la conducción y descartar esa posible hipótesis.

6.7. Proceso de recolección de datos

Para el proceso de recolección de datos, en lo que se refiere a evaluación y capacidad de las fuentes y todo el sistema de abastecimiento de agua potable, se investigó y trabajó por iniciativa propia, ya que lamentablemente la municipalidad no tiene ningún archivo o información que haya sido de beneficio para la investigación. En lo que se refiere a

aprovechamiento de las fuentes de agua en zonas de recarga hídrica, se obtuvo información por medio del estudio hidrogeológico del ingeniero Delmar Villatoro, quien colaboró en realizar la práctica de geofísica con electrodos.

6.8. Variables de estudio

Son las siguientes:

- Fuente de abastecimiento de agua

La principal variable que se analizó fue el caudal en (m^3/h), también se analizó el nivel estático de los pozos mecánicos en (m) y el nivel dinámico en (m).

- Equipo de bombeo

En esta variable se evaluó la capacidad hidráulica de las bombas en (H_p), el aporte de las bombas según su capacidad y las horas de operación de las mismas en horas para conocer la demanda del caudal en el día en ($m^3/día$).

- Tanque de distribución o de almacenamiento

Esta variable se analizó por su cota de elevación (m) y el volumen de agua disponible (m^3).

- Población beneficiada

Esta variable consistió en determinar la población beneficiada (número de viviendas).

6.9. Sondeo eléctrico vertical

El sondeo eléctrico vertical se realizó en la zona de recarga hídrica en el área del semivalle del sector Sabana Grande, donde están los pozos mecánicos existentes, esto con el fin de conocer el terreno adecuado para aprovechar el agua subterránea perforando un nuevo pozo mecánico.

Las coordenadas UTM de ubicación se aprecian en la tabla siguiente:

Tabla XXIII. **Coordenadas de ubicación del sondeo**

E	15P-07-48-459
N	16-02-205

Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación del sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

El sondeo se realizó con una extensión de electrodos A-B de 800 metros, se repartieron los 800 metros, es decir 400 metros de lado a lado. El método utilizado fue el Schlumberger y las separaciones de electrodos A-B, y sus combinaciones con las distancias de los electrodos M-N, se muestran en la tabla nro. 1. Estas distancias fueron medidas en el campo, por medio del método de cinta y brújula.

6.9.1. El trabajo de campo en el SEV

El método eléctrico de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) consiste en un arreglo geométrico, este permite obtener resultados en un plano de profundidad vs resistividad aparente, el cual se interpreta en los distintos estratos bajo el centro del SEV.

El trabajo de campo del sondeo eléctrico vertical es un método que consiste en generar corrientes eléctricas por medio de una secuencia de electrodos, los cuales están compuestos y tendidos por cables eléctricos sobre la superficie del terreno, y logran transmitirse por todo el perfil de los estratos.

El primer paso para este método es elegir la ubicación, de preferencia elegir un lugar céntrico para tirar los tendidos de los electrodos de lado a lado.

Los tendidos de SEV se pueden realizar con longitudes variables, pero en este estudio se usaron hasta 400 metros de lado a lado desde la fuente de energía para ser transmitida por los electrodos de corriente (AB).

$$\rho\alpha = \frac{\Delta v}{1} K \quad \text{donde:} \quad k = \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{MN}$$

La figura siguiente presenta la secuencia de arreglos AB-MN utilizados para el caso del estudio realizado, la cual obedece a una secuencia espaciada regularmente en la escala logarítmica utilizada para la posterior interpretación.

Figura 11. Datos del sondeo eléctrico vertical

No.	Distancia (m)		K	No.	Distancia (m)		K
	AB	MN			AB	MN	
1	2.0	0.5	11.7809725	16	50.0	2.5	1566.86934
2	2.5	0.5	18.8495559	17	65.0	2.5	2650.7188
3	3.2	0.5	31.3845106	18	80.0	2.5	4017.31161
4	4.0	0.5	49.4800843	19	80.0	5.0	2002.76532
5	5.0	0.5	77.7544182	20	100.0	2.5	6279.26832
6	6.5	0.5	131.946891	21	100.0	5.0	3133.73867
7	8.0	0.5	200.276532	22	130.0	5.0	5301.4376
8	10.0	0.5	313.373867	23	160.0	5.0	8034.62321
9	13.0	0.5	530.14376	24	200.0	5.0	12558.5166
10	16.0	0.5	803.462321	25	250.0	5.0	6267.47734
11	16.0	2.5	156.922553	26	300.0	5.0	19627.1001
12	20.0	0.5	1255.85166	27	300.0	25.0	9801.76908
13	20.0	2.5	247.400421	28	400.0	5.0	50257.6285
14	25.0	2.5	388.772091	29	400.0	25.0	10013.8266
15	30.0	2.5	561.559687	30	500.0	25.0	26507.188
16	40.0	2.5	1001.38266	31	650.0	25.0	62792.583

Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación del sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

6.9.2. Interpretación

La señal que se transmite por cada emisión de corriente se registra como la diferencia de potencial, y esto es lo que hace que el subsuelo envíe una respuesta a la fuente de energía. Su principal objetivo es brindar el perfil eléctrico bajo el sitio central del SEV, lo cual es mostrado por una gráfica doble-logarítmica de resistividad aparente (ρ_a) versus separación AB media ($AB/2$).

6.9.3. Equipo

A continuación se muestra el equipo utilizado para el SEV:

- Equipo de sondeos eléctricos verticales marca Terrameter SAS 300 B, de fabricación sueca.

- Fuente de poder de 45V, 90V, 180V y 270V.
- Cables para la conducción de la energía eléctrica proveniente de la fuente de poder con una extensión máxima de 750.00 m por ala.
- Electrodo de corriente (AB).
- Electrodo de potencial (MN).

Figura 12. **Equipo de sondeo eléctrico vertical**



Fuente: Villatoro (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación del sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

CONCLUSIONES

1. Evaluando la capacidad y aprovechamiento de las fuentes de agua, por medio de aforos en la boca de los pozos, se puede concluir que todas estas fuentes de agua pueden beneficiar a 5,334 familias o viviendas, tomando en cuenta que en el municipio de Santa María de Jesús, Sacatepéquez, en el último censo poblacional se contabilizó 4,774 viviendas. Con estos datos se puede concluir que las fuentes de agua están capacitadas para abastecer y suministrar agua al 100 % de la población.
2. Se realizó el estudio hidráulico de la red de conducción del pozo nro. 4, se calculó las pérdidas de energía mediante la sumatoria de carga dinámica total, se investigó la capacidad de las bombas y aporte de carga que generan y se obtuvo una presión de 6.82 m.c.a. del pozo hacia el rebombeo. Luego se calculó las pérdidas del rebombeo hacia el tanque del bosque y se obtuvo una presión de 2.31 m.c.a., por lo que se concluye que se tiene un buen comportamiento hidráulico, ya que los metros por columna de agua están por encima del tanque y el aporte de la bomba es mayor a lo que genera las pérdidas de carga, esto permite que el agua llegue y se descargue con normalidad en el tanque del bosque.
3. Se realizó una proyección del sistema de conducción a futuro para el año 2037, obteniendo una presión de 4.56 m.c.a. del pozo nro. 4 hacia el rebombeo y una presión negativa de 1.22 m.c.a. del rebombeo hacia el tanque del bosque, por lo que se concluye que en 15 años el caudal que

llegará hacia este disminuirá, y se tendrá que aumentar el tiempo de bombeo a 18 horas, para cumplir con la dotación necesaria.

4. Se encuestó a la población sobre la cantidad de agua que se almacena durante el servicio de agua potable, obteniendo una dotación promedio de 72.87 l/hab/día versus la dotación necesaria que se estableció de 120 l/hab/día. Según los datos aforados y medidos en campo se obtuvo una dotación real de 140.25 l/hab/día, comparando estas dotaciones se puede concluir que el sistema de conducción tiene capacidad para dotar a mayor población y el déficit probablemente podría ser por fallas en la red de distribución o un mal manejo de operación. Haciendo referencia con el capítulo nro. 2 de los sistemas de distribución intermitente se puede categorizar que se debe a una mala gestión, es decir se cuenta con la infraestructura necesaria y la cantidad de agua disponible extraída de las fuentes de agua, pero se vuelve intermitente y deficiente debido a posibles fugas, desperdicio, falta de mantenimiento, falta de control de agua de consumo por medio de contadores y el abuso de conexiones ilícitas.

5. En el estudio hidrogeológico en el área de recarga hídrica donde se encuentran las fuentes de agua existentes, que son los pozos mecánicos, se pudo establecer mediante el estudio geofísico con sondeo eléctrico vertical que se encuentra presencia de agua a 700 pies de profundidad y que por las características físicas del subsuelo, que tiene una alta permeabilidad, se recarga las zona con mayor facilidad. Esto permite que, de acuerdo al balance hídrico realizado, teniendo un superávit de agua, ya que hay mayor infiltración de agua que evapotranspiración, se puede concluir que el área donde se encuentran

los pozos es una zona con buena recarga hídrica y esto permite que el nivel freático y los acuíferos se mantengan regulares.

RECOMENDACIONES

1. Analizar la red de distribución de agua potable del segundo y cuarto cantón suministrados por el pozo nro. 4, ya que en el análisis del estudio hidráulico se pudo determinar un buen funcionamiento del sistema de conducción por medio de los cálculos de las pérdidas de carga y el aporte que genera la bomba. Esto permitirá conocer las posibles fallas que se presentan en el sistema de distribución y solucionarlas teniendo la ruta crítica.
2. Realizar un análisis más profundo de las otras captaciones y sus elementos de impulsión, para ver si están generando agua y determinar si existen fugas, conexiones ilícitas, falta de mantenimiento, mala operación en la distribución, entre otros aspectos.
3. Construir una línea de conducción por gravedad que salga del tanque de distribución del bosque hacia la pequeña porción de la población de 254 habitantes, para evitar conexiones o ramales en la línea de distribución principal por bombeo, ya que genera mayores pérdidas de carga y no permite que se tenga los metros por columna de agua necesarios sobre el tanque. Así mismo construir un tanque de distribución con un volumen mayor a 12 m³, que es el volumen compensador para el caudal de día máximo de esta población.
4. Construir un sistema de vertedero a un lado del tanque de distribución del bosque para una caja distribuidora de caudales, lo cual sirve cuando uno de los ramales que sale de la caja alimenta un bajo número de

viviendas, en este caso para distribuir el agua hacia la pequeña población de 254 habitantes, específicamente del sector Ramales.

5. Instalar válvulas de flote en los tanques gemelos para que, cuando se llenen los tanques, no se rebalse o se desperdicie el agua.
6. Instalar contadores de agua en cada vivienda para llevar un mejor control del consumo de la población, de esta forma se podrá ser más eficiente en la distribución y evitar las conexiones ilícitas y fugas en el sistema.

REFERENCIAS

1. Aguilar, P. (2007). *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria 1* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
2. Argueta, A. (2009). *Aprovechamiento del agua subterránea y manejo sostenible de los recursos hidráulicos, en el campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3045_C.pdf.
3. Cabrera-Béjar, J. y Tzatchkov, V. (abril de 2009). Inexpensive modeling of intermittent service water distribution networks. *World Environmental and Water Resources Congress*, 295-303. [https://doi.org/10.1061/41036\(342\)29](https://doi.org/10.1061/41036(342)29).
4. Central Public Health and Environmental Engineering Organisation. (2005). *Manual on operation and maintenance of water supply systems*. India: Ministry of Urban Development, World Health Organisation.
5. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente y Organización Panamericana de la Salud. (2004). *Guía para el diseño y construcción de captación de manantiales*. Lima: Autor. Recuperado 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.

6. Dahasahasra, S. (agosto de 2007). A model for transforming an intermittent into a 24x7 water supply system. *Geospatial today*, 34-39. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/DAHASAHASRA%202007%20Model%20for%20Transforming%20Intermittent%20into%2024%207.pdf.
7. De la Torre, J. (26 de agosto de 2017). Medidores de flujo en canales abiertos [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/357271933/Aforo-Vertederos>.
8. Farley, M. (2001). *Leakage management and control, a best practice training manual*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
9. González, O. (2015) *Sistemas de agua potable y perforación de pozos mecánicos en arquitectura* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7339/1/OSCAR%20RENE%20GONZALEZ%20HERNANDEZ.pdf>.
10. Ilaya, A., Campbell, E., Pérez, R. e Izquierdo, J. (diciembre de 2015). La problemática de los sistemas de suministro de agua intermitentes. *Revista Científico Tecnológica del Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC*, 05, 31-39. Recuperado de

<http://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/download/1990/1780/6602>.

11. Ilaya, A. (2016). *Propuesta para la transición de un sistema con suministro de agua intermitente a suministro continuo* (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de <https://www.readcube.com/articles/10.4995%2Fthesis%2F10251%2F67931>.
12. INFOM. (1994). *Perfiles litológicos de pozos mecánicos de Santa María de Jesús, Sacatepéquez*. Guatemala: Autor.
13. Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Censo poblacional de Santa María de Jesús, Sacatepéquez*. Guatemala: Autor. <https://www.censopoblacion.gt/mapas>.
14. Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>.
15. USDA Burea of Reclamation. (2001) *Water measurement manual*. Estados Unidos: Autor. Recuperado de https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/WMM_3rd_2001.pdf.
16. Vásquez, A. (2017). *Diseño de un sistema de agua potable para el sector Chicapitán, Santa María de Jesús, Sacatepéquez*,

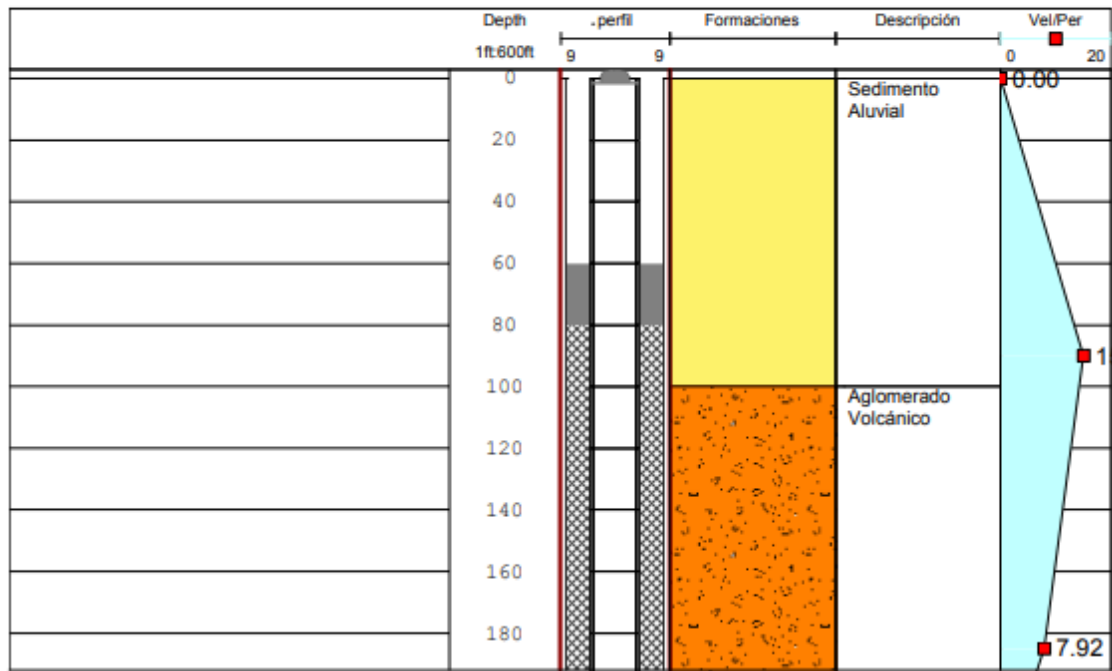
Guatemala (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

17. Villatoro, D. (2020). *Estudio hidrogeológico para la ampliación del sistema de agua potable con perforación de pozo Sabana Grande, Santa María de Jesús, Sacatepéquez*. Guatemala: Autor.
18. Yepes, G., Ringskog, K. y Sarkar, S. (s.f.) The high cost of intermittent water supplies. *Journal of Indian Water Works Association*, 33(2). 99-115.

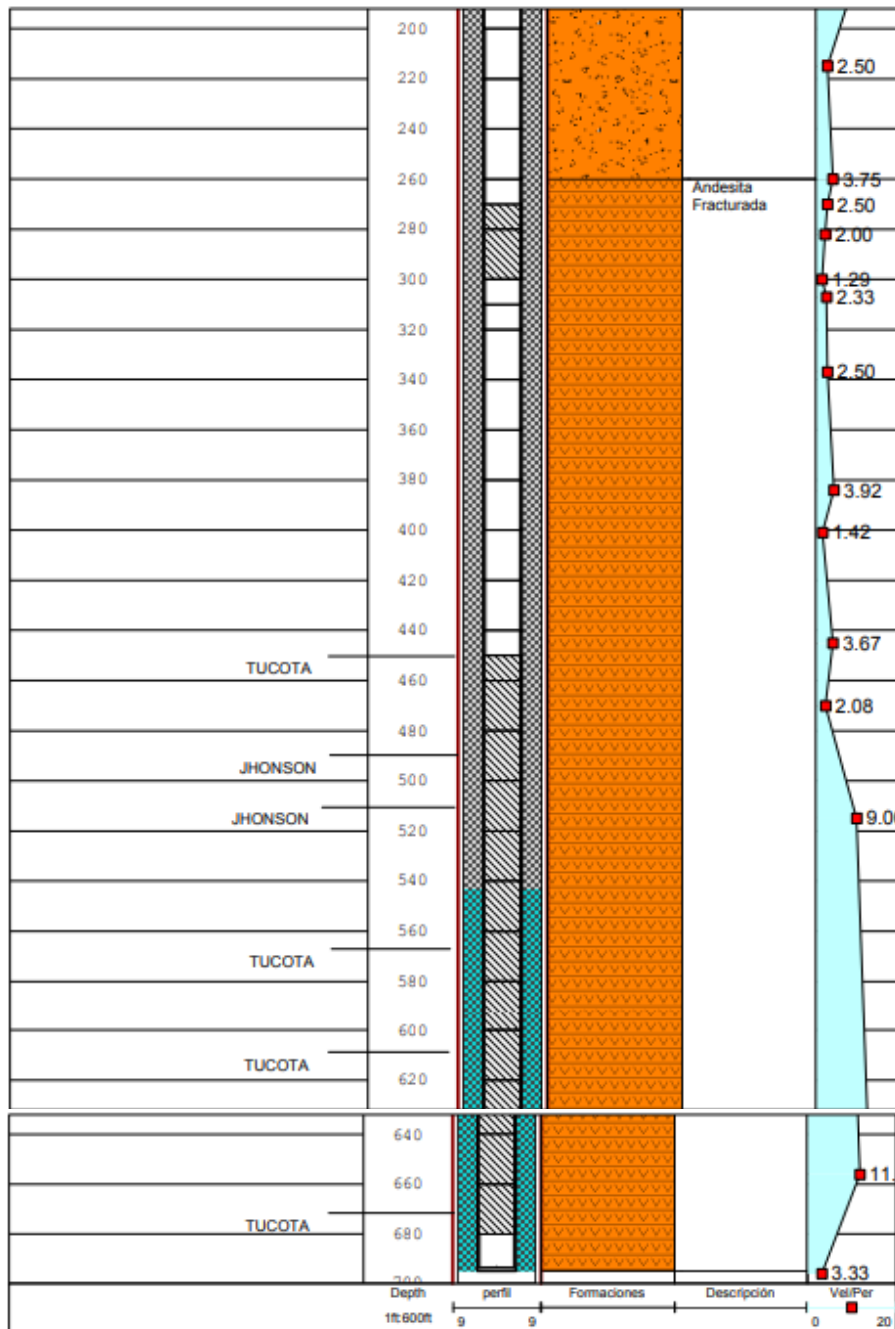
ANEXOS

Anexo 1. Perfil litológico de pozo japonés

Propietario : J I C A - I N F O M	
Ubicación Pozo: SANTA MARIA DE JESUS, ANTIGUA GUATEMALA SACATEPEQUEZ	
Fecha de inicio: 05/09/94	Fecha finalización: 08/11/94
Perforadora: CHICAGO	Metodo: ROTATIVO
Perforador: RIGOBERTO GUDIEL FERNANDEZ	
Diámetro: 8 PULG.	Profundidad pozo: 695 PIES
Nivel Estático: 543 PIES	Nivel de bombeo: 547 PIES
Producción : 282 G.P.M.	Duración bombeo: 58:00 HORAS
Profundidad de la bomba: Instalada a 686' con 14 etapas, 60 HP	
Observaciones: Sello Sanitario de cemento de 60' a 80', Filtro de Grava de 80' a 695'	
: Hecho por: ACIFUENTES	



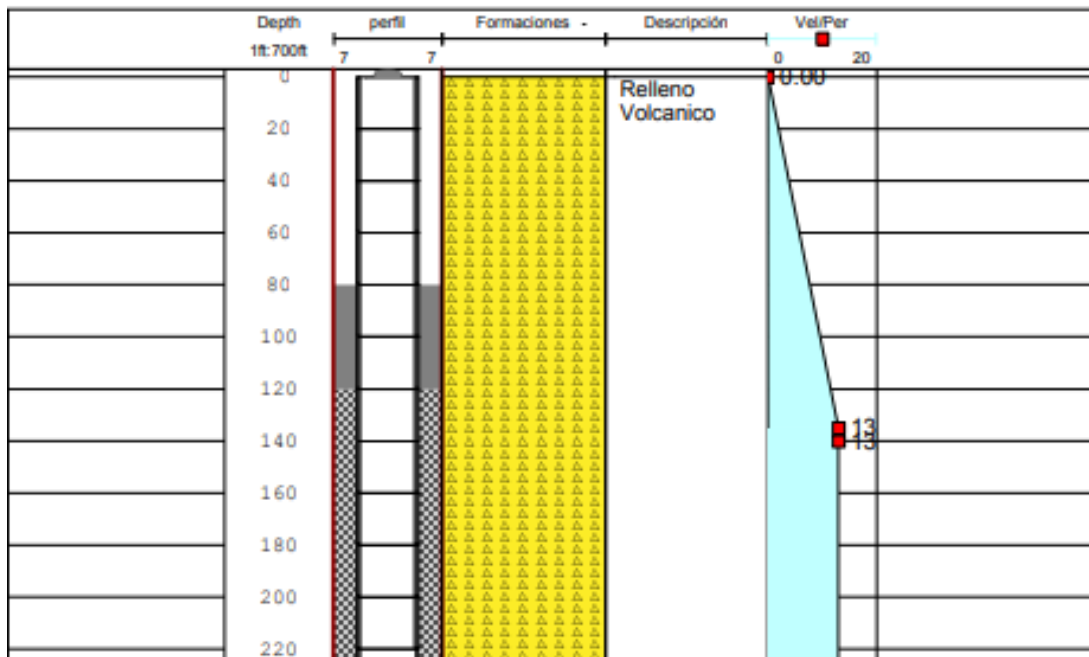
Continuación del anexo 1.



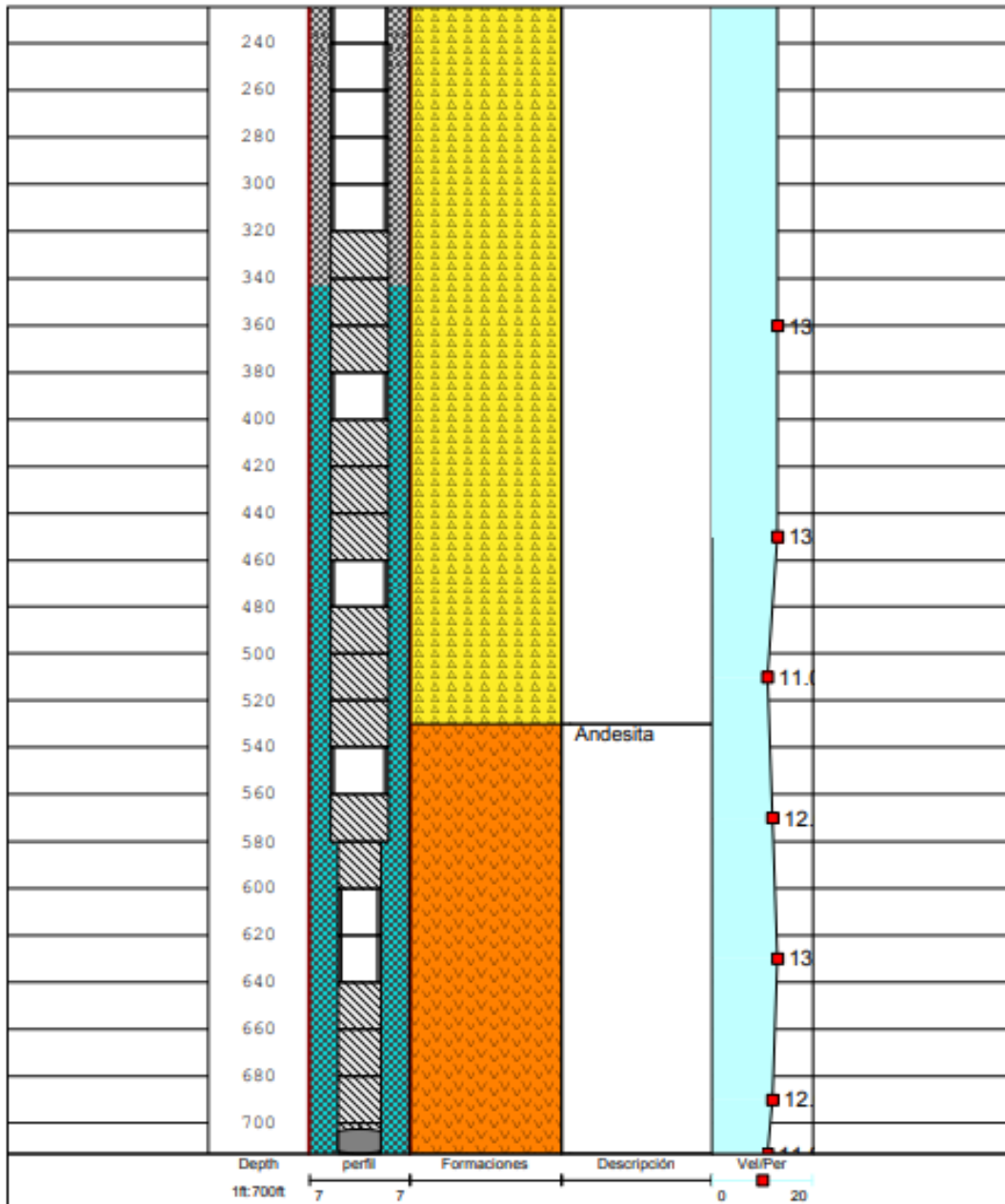
Fuente: INFOM (1994). *Perfiles litológicos de pozos mecánicos de Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

Anexo 2. Perfil litológico de pozo nro. 4

Propietario :	MUNICIPALIDAD SANTA MARIA DE JESUS - A/C. INFOM		
Ubicación Pozo:	MUNICIPIO DE SANTA MARIA DE JESUS, DEPTO, SACATEPEQUEZ		
Fecha de inicio:	25-04-85	Fecha finalización:	07-06-85
Perforadora:	CYCLONE TH-60	Metodo:	ROTO-PERCUSION
Perforador:	FABIAN PEREZ		
Diámetro:	8 Y 6 Pulgadas	Profundidad pozo:	700 pies
Nivel Estático:	343 PIES	Nivel de bombeo:	478 pies
Producción :	207 G.P.M.	Duración bombeo:	48:00 Horas
Profundidad de la bomba:	573 pies de 40 H.P. de 22 Etapas		
Observaciones:	Sello Sanitario de Cemento de 80-120 Pies, Filtro de Grava de 120-603 Pies		
: Hecho por: Luis Valiente			

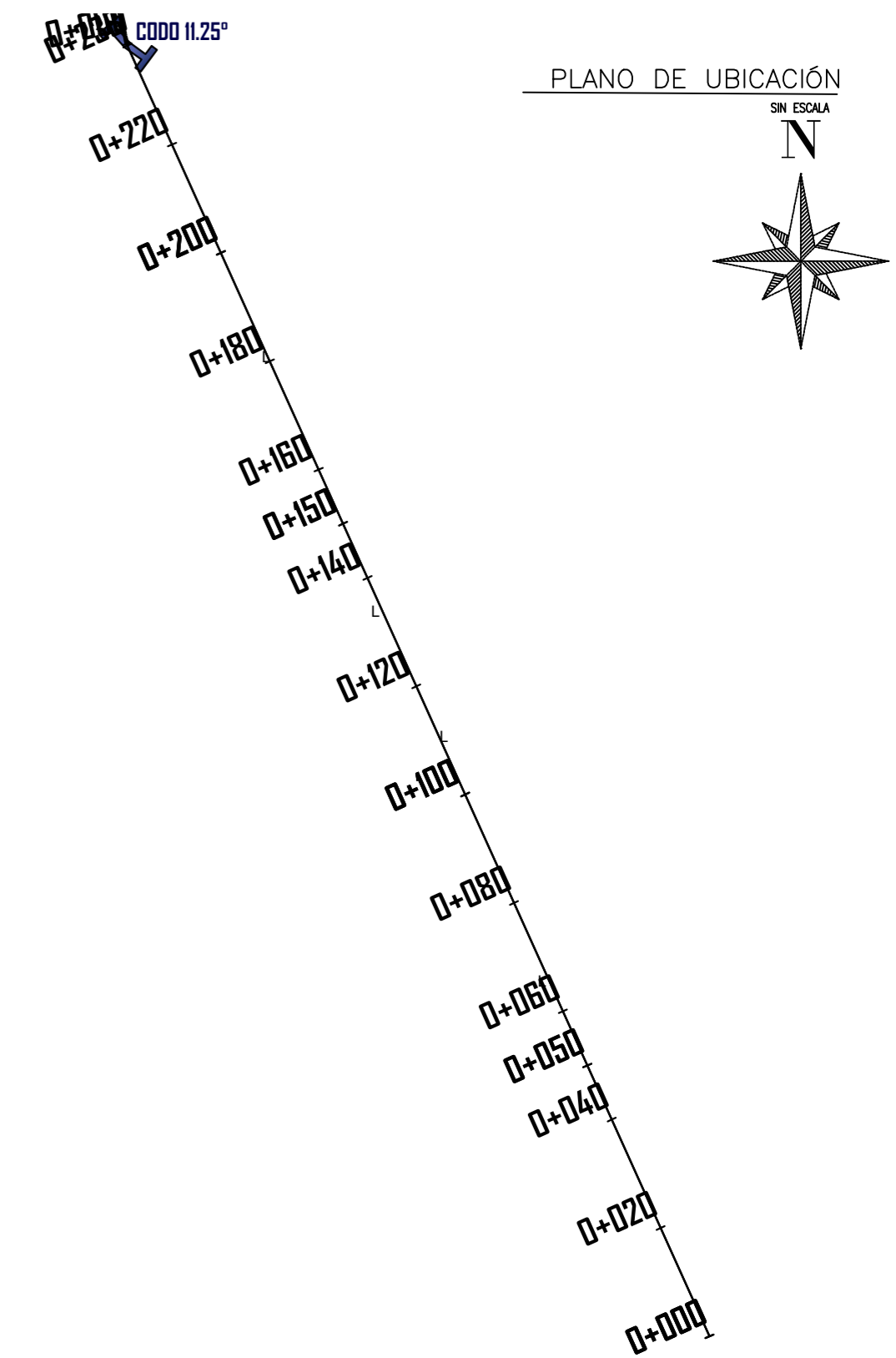
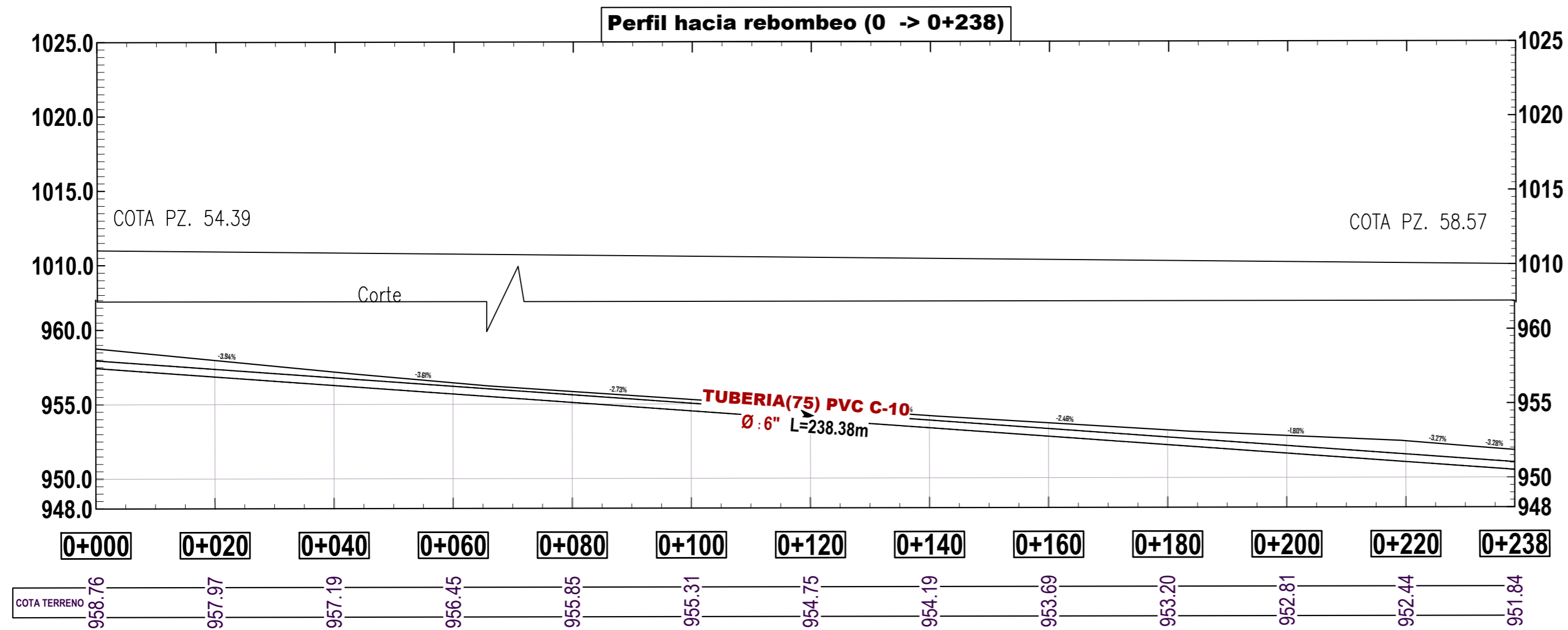
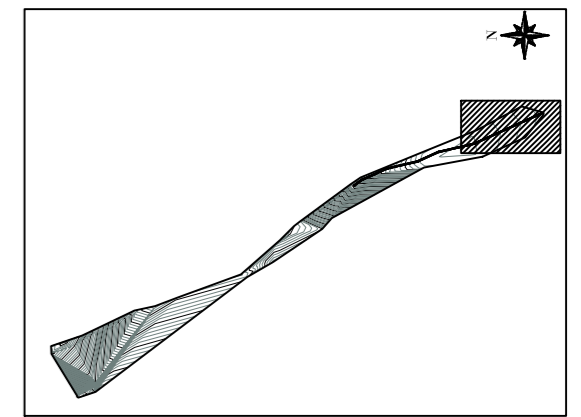


Continuación del anexo 2.



Fuente: INFOM (1994). *Perfiles litológicos de pozos mecánicos de Santa María de Jesús, Sacatepéquez.*

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA DE RED DE CONDUCCIÓN AGUA POTABLE DEL POZO NO.4

PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

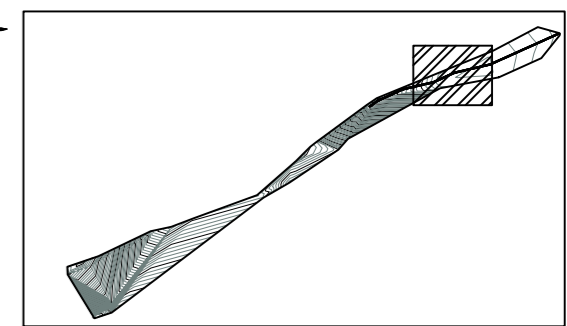
ESCALA 1:750

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

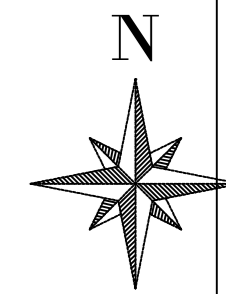
ESCALA VERTICAL: 1:300
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</p>	<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		<p>PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p> <p>LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
	<p>CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION</p>		
<p>CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>FECHA: JULIO 2022</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>REVISÓ: ING. NORMAN SIGÜÍ GIL</p>
<p>ASESOR:</p>	<p>DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>PLANO: 1</p>	<p>SELLO RECIBIDO: 10</p>

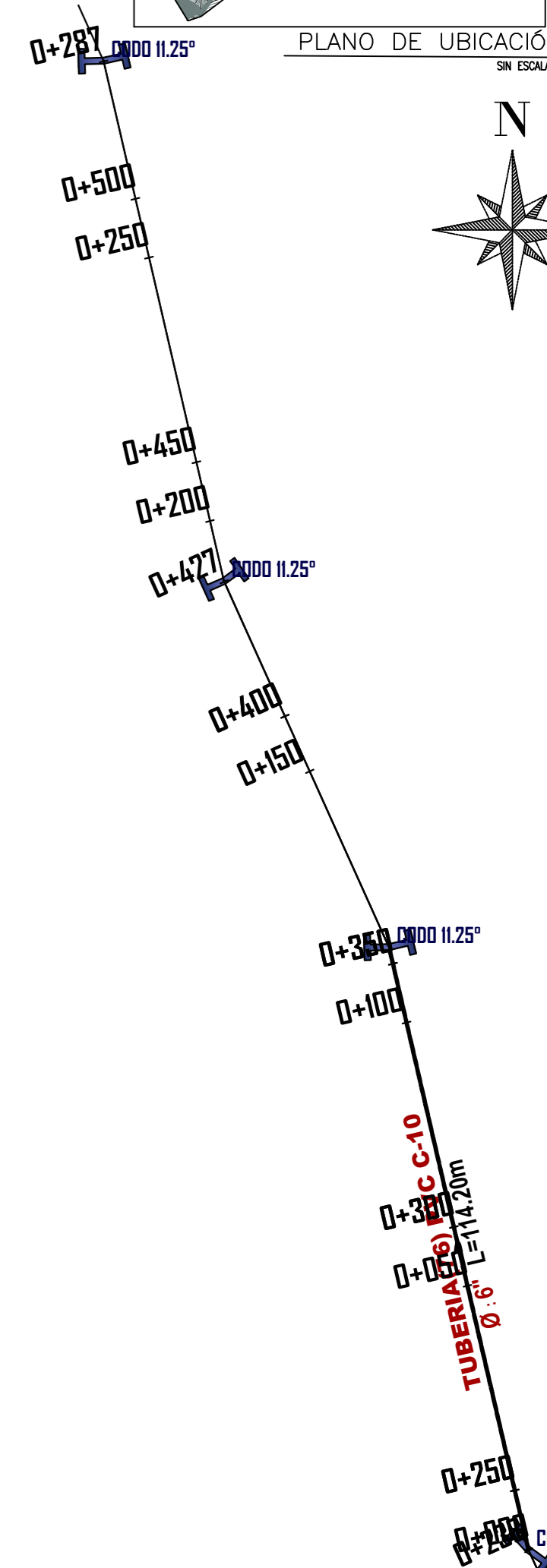
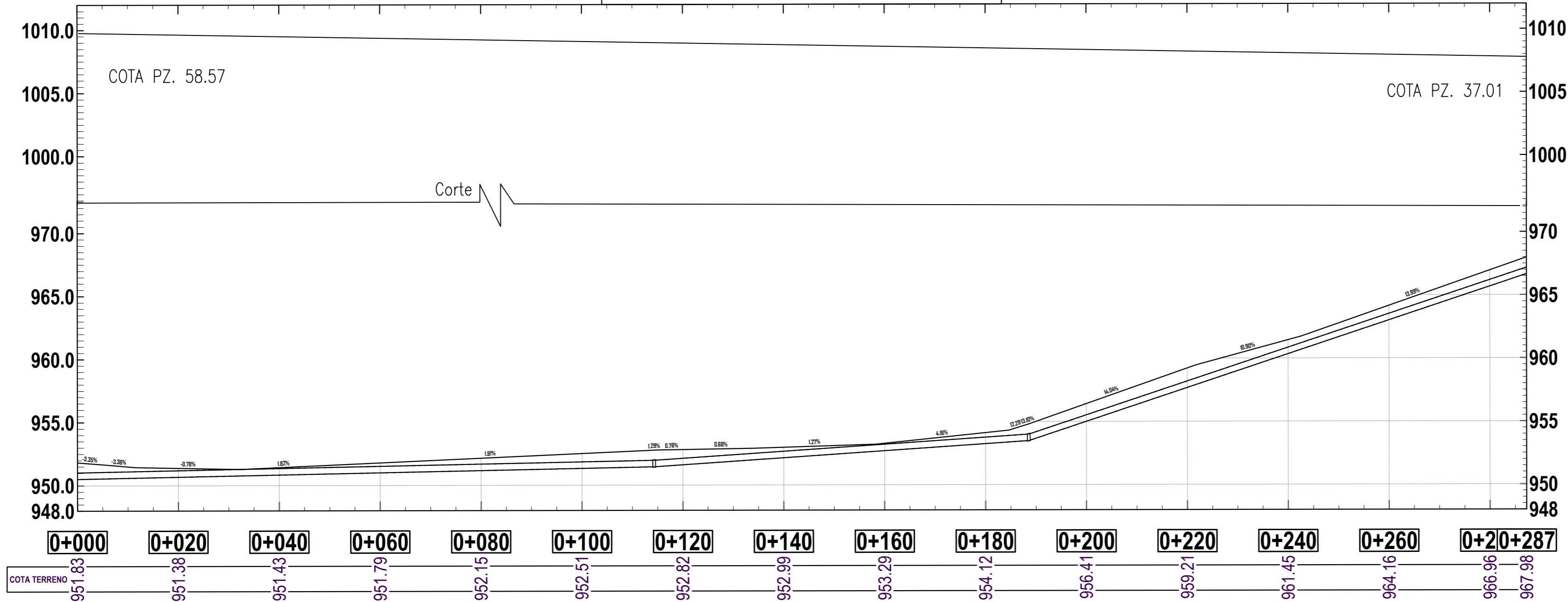
PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANO DE UBICACIÓN
SIN ESCALA



Perfil hacia rebombeo (0+238 -> 0+525)



PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA DE RED DE CONDUCCIÓN AGUA POTABLE DEL POZO NO.4

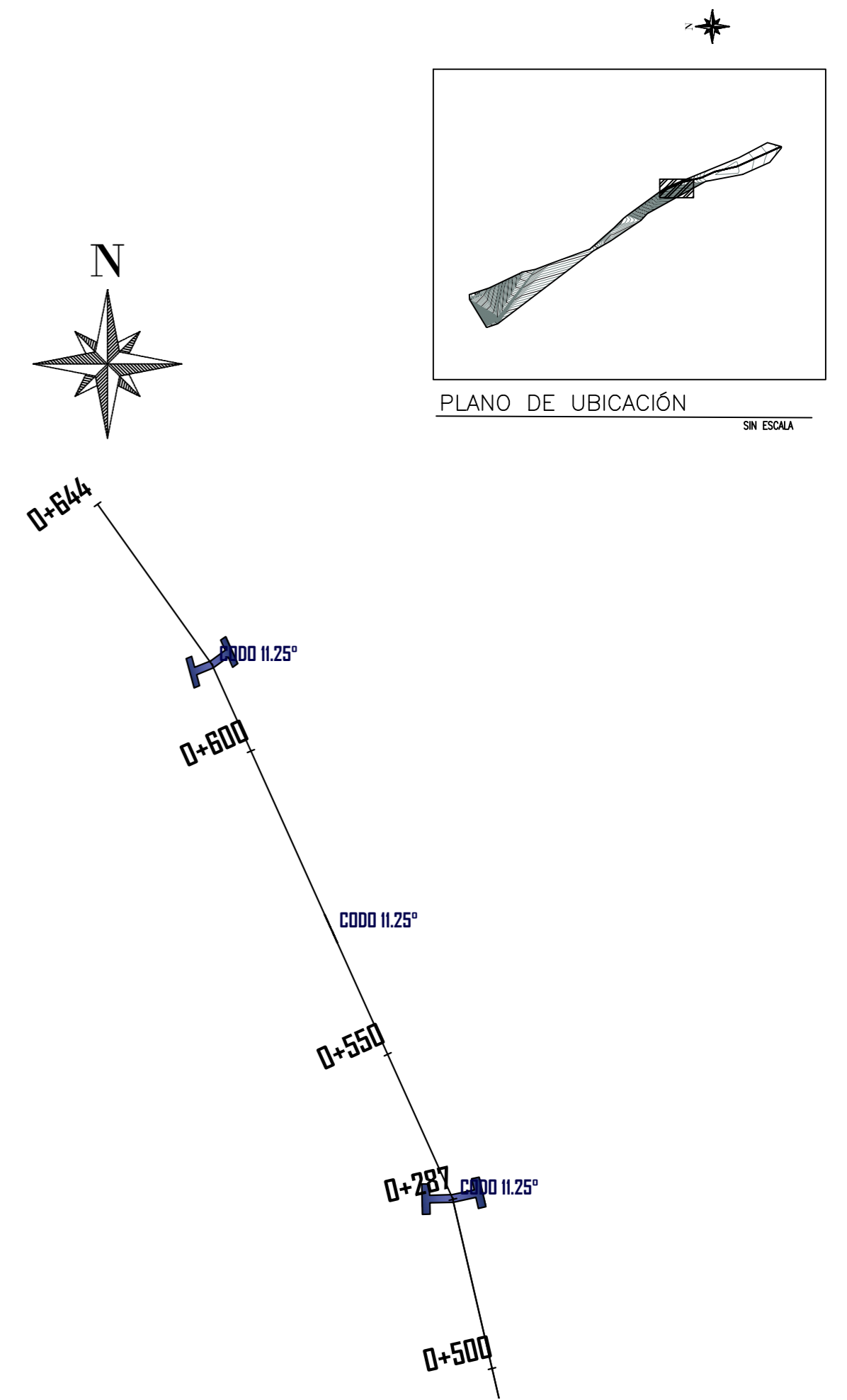
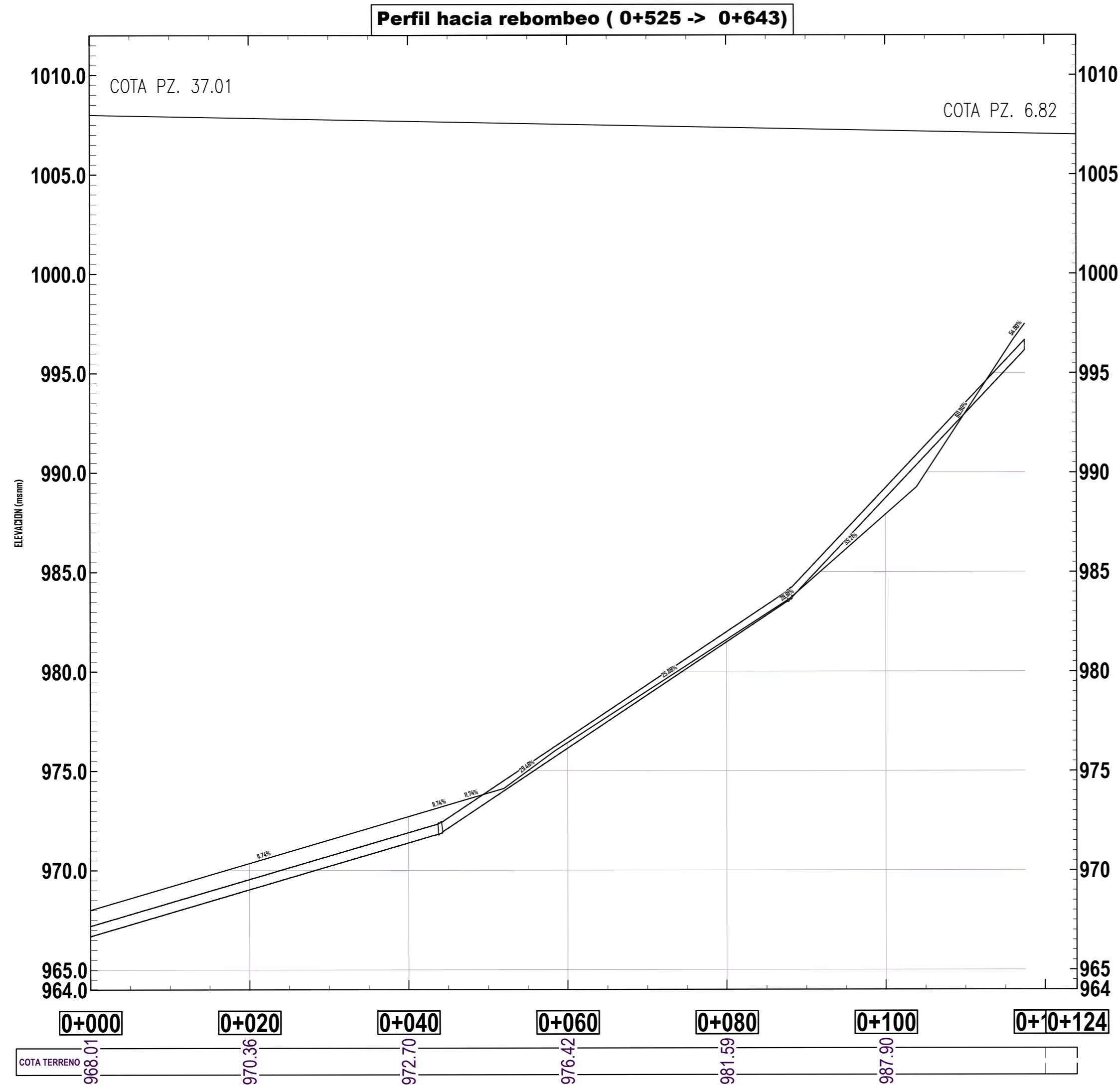
SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:300
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE
SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ
ESCALA 1:750

<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERIA</p>	PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTÓN DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ	
	CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION	
FECHA: JULIO 2022	ESCALA: INDICADA	
CALCULO: RONALD MIGUEL SUNJUN TUY	DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNJUN TUY	REVISÓ: ING. NORMAN SIGÜE GIL
ASESOR: _____		PLANO: 2 / SELLO RECIBIDO: 10

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE
SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ
ESCALA 1:750

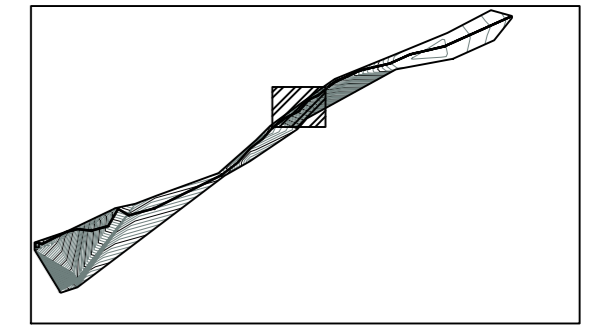
PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA DE RED DE CONDUCCIÓN AGUA POTABLE DEL POZO NO.4

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:300
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

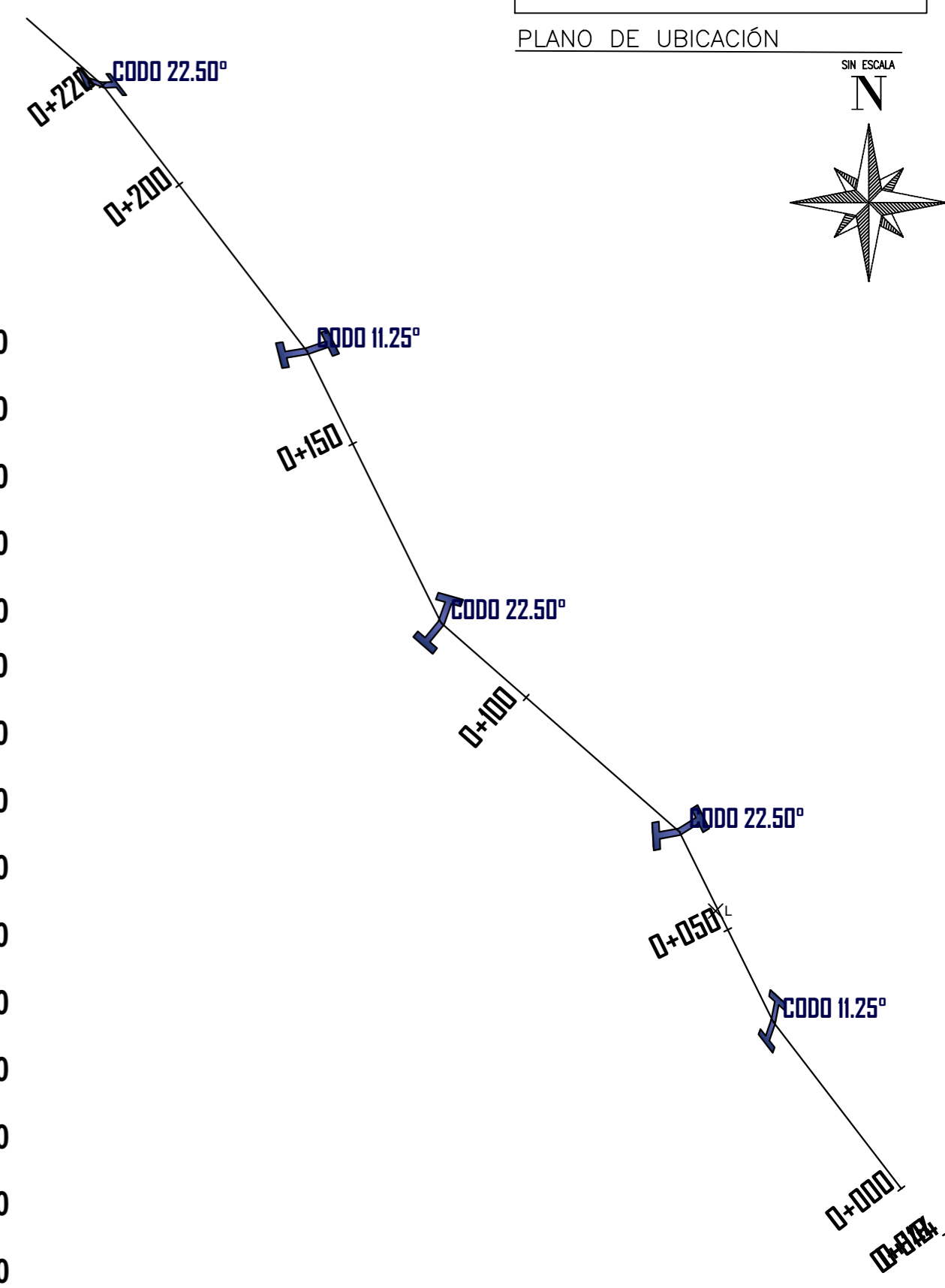
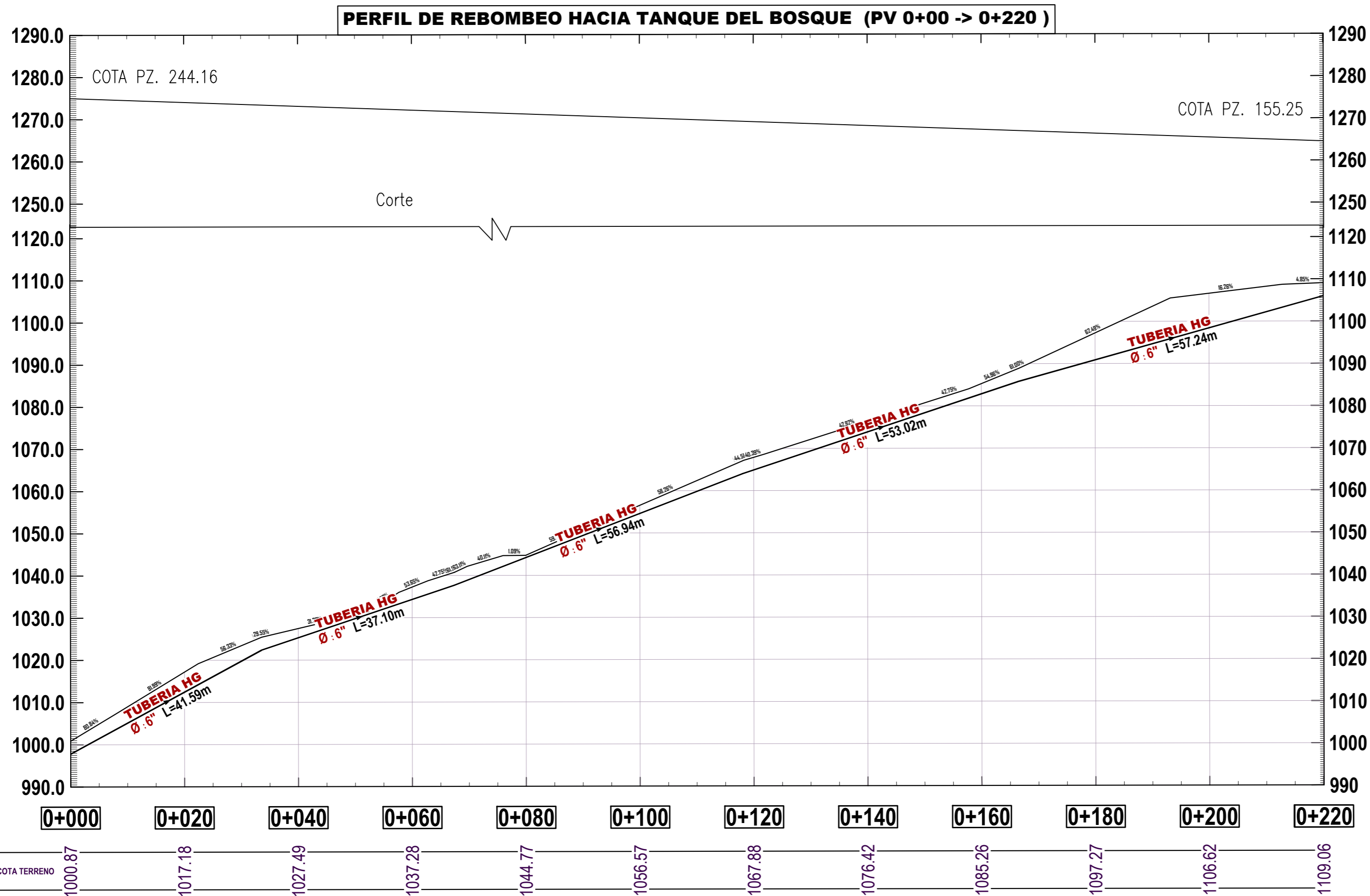
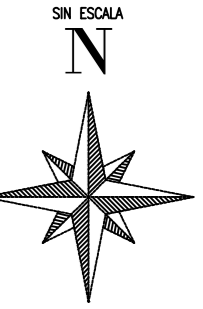
<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERIA</p>	PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARIA DE JESUS SACATEPEQUEZ LUGAR: SANTA MARÍA DE JESUS SACATEPEQUEZ	
	CONTENIDO: PLANTA PERFIL LINEA DE CONDUCCION	
FECHA: JULIO 2022	ESCALA: INDICADA	
CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY	DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY	REVISO: ING. NORMAN SIGUÉ GIL
ASESOR: _____		PLANOS: 3 / SELLO RECIBIDO: 10

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANO DE UBICACIÓN

SIN ESCALA



PLANTA RED DE CAPTACION DE AGUA POTABLE
SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ
ESCALA 1:750

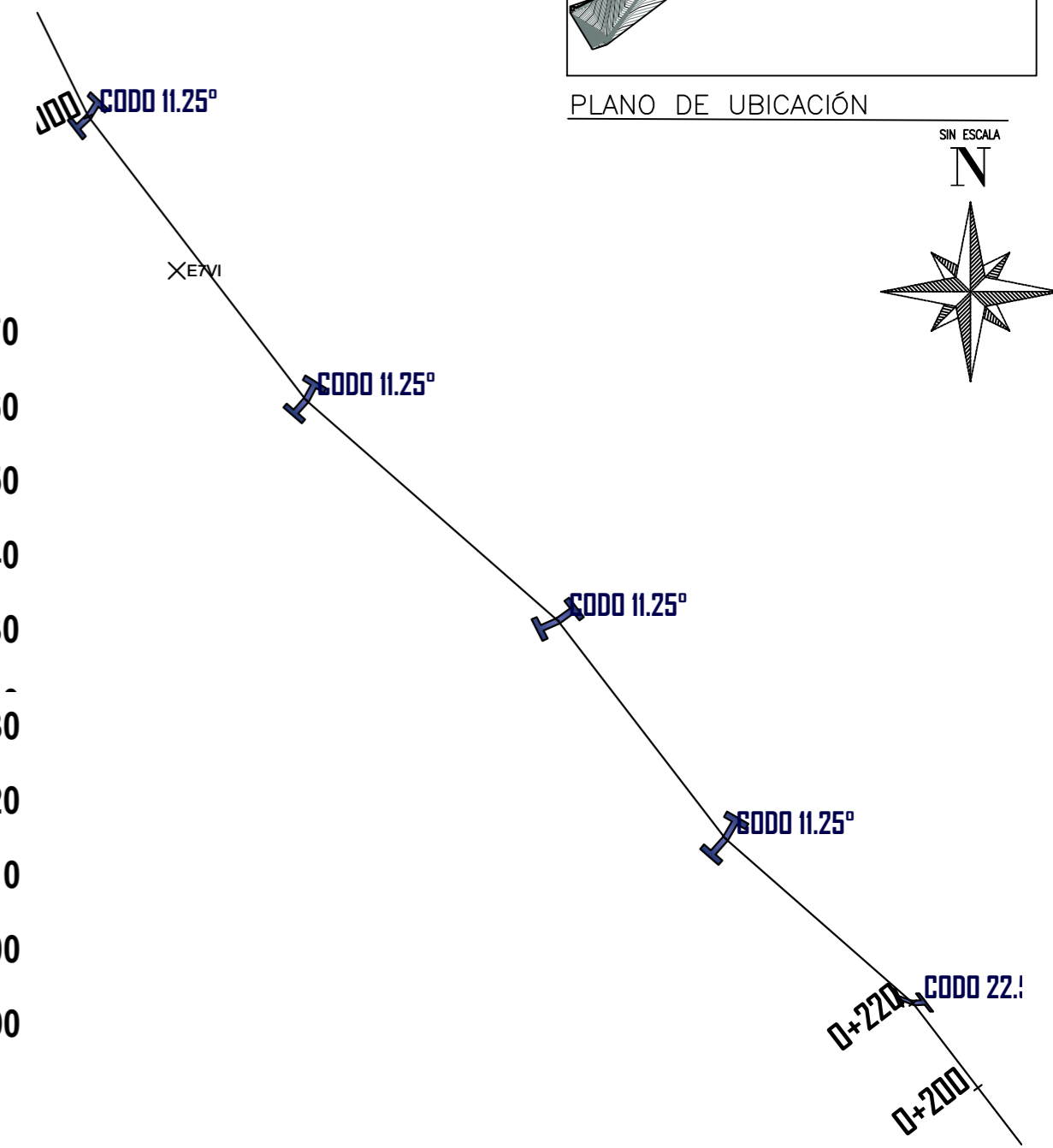
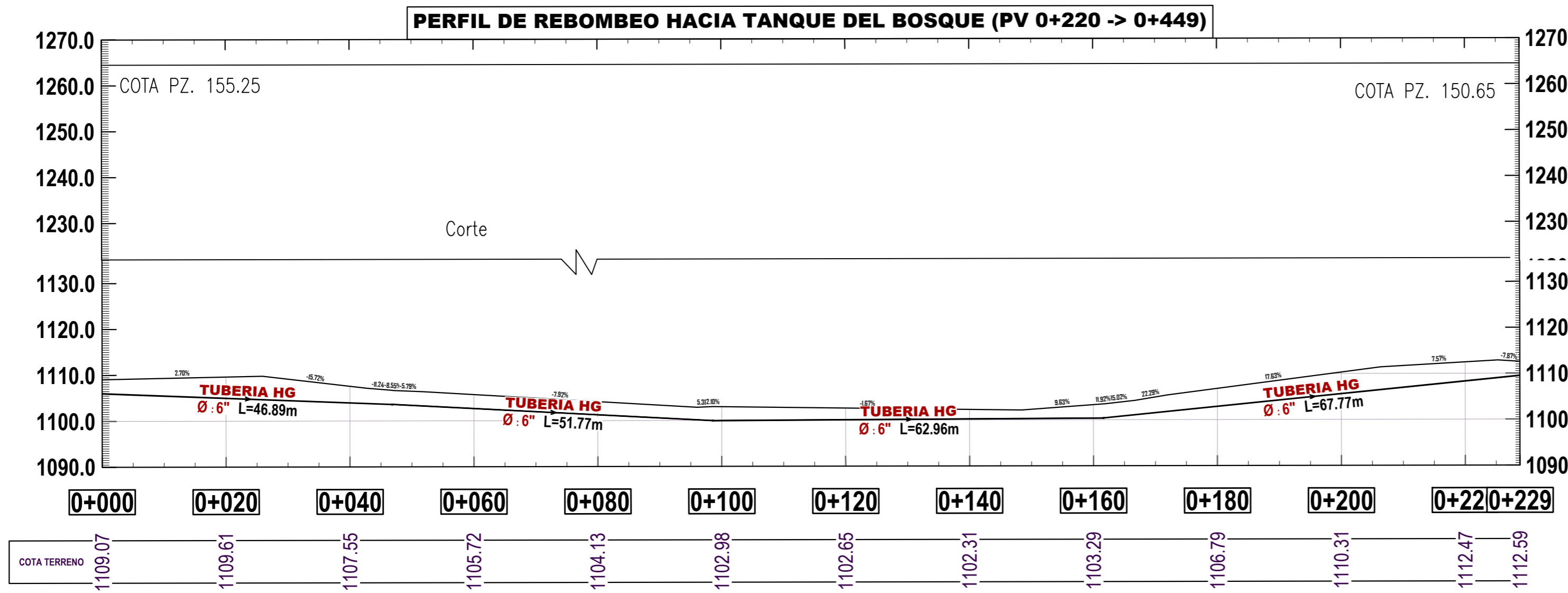
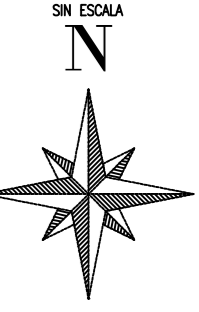
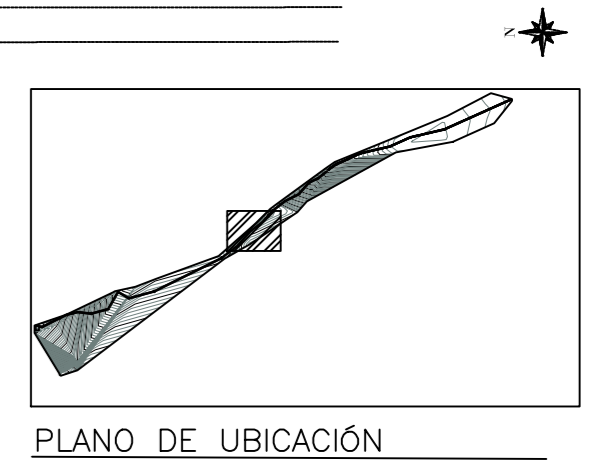
PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CAPTACION AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:300
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

	MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERIA		PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ
	CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION		
CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY	DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY	FECHA: JULIO 2022	ESCALA: INDICADA
ASESOR: _____		REVISÓ: ING. NORMAN SIGÚ GIL	SELLO RECIBIDO: 4 / 10

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANTA RED DE CAPTACION DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA 1:750

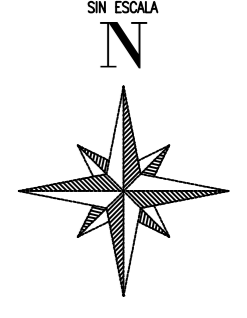
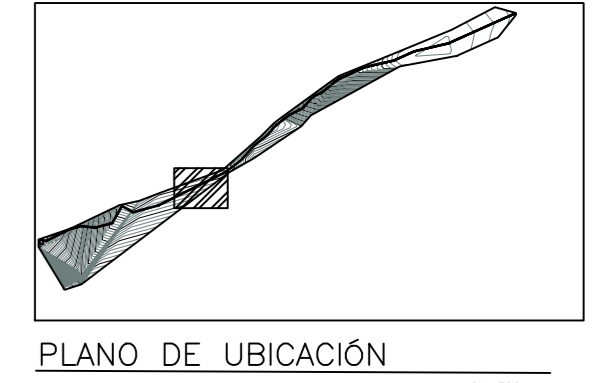
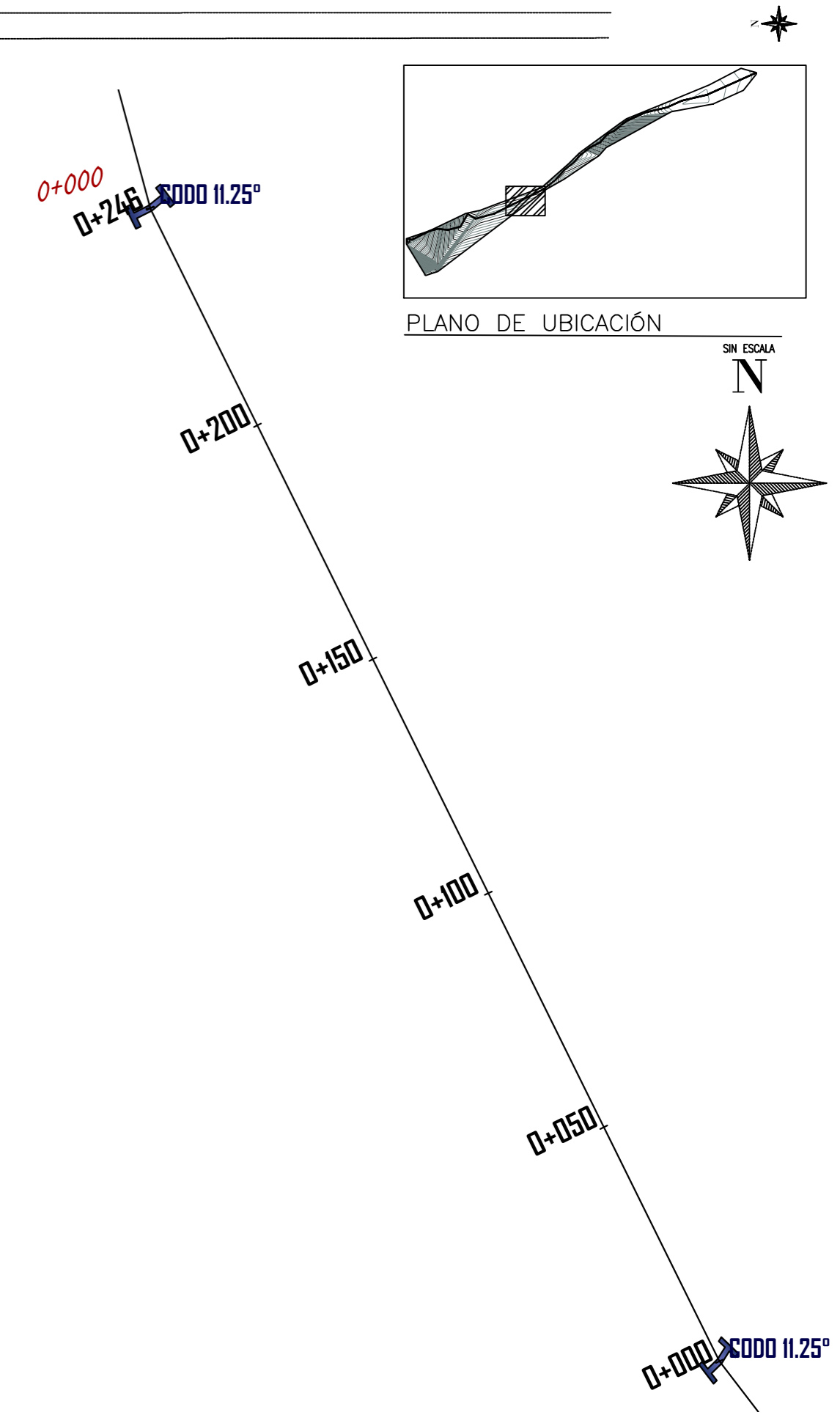
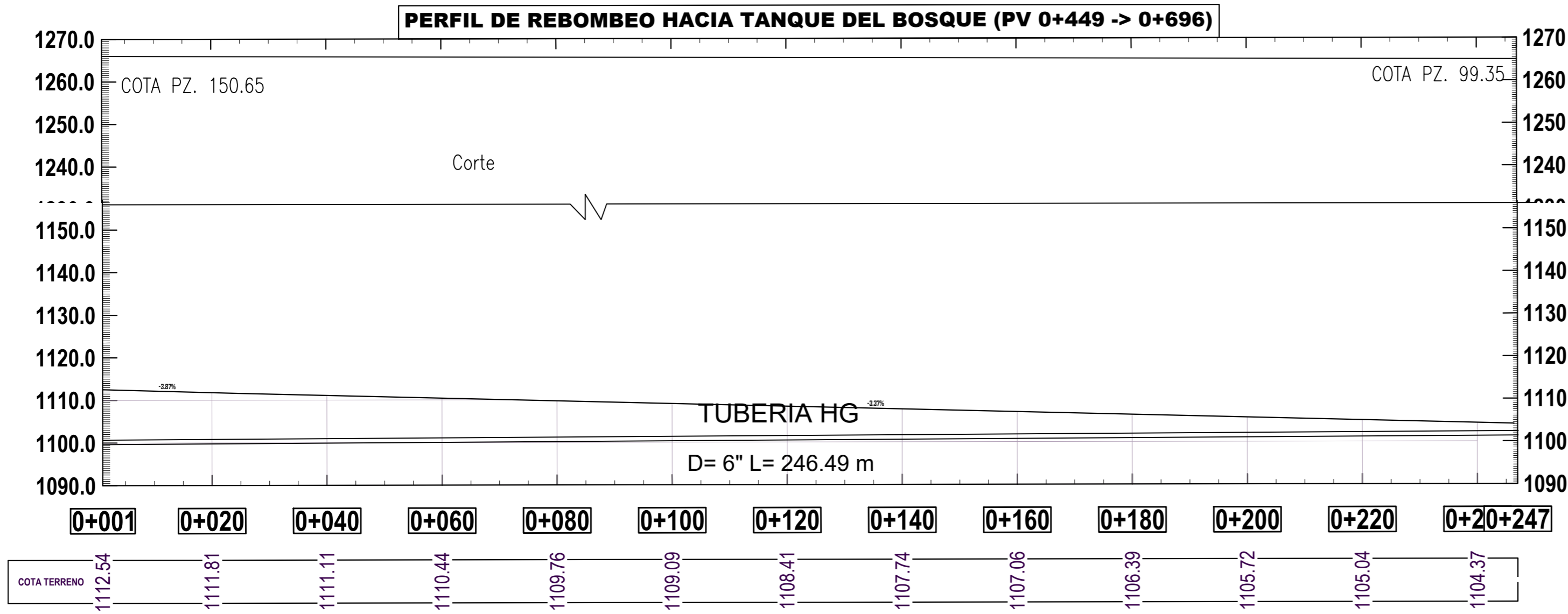
PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CAPTACION AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:1000
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</p>	<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		<p>PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
	<p>CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION</p>		<p>LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
<p>CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>FECHA: JULIO 2022</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>REVISÓ: ING. NORMAN SIGÚ GIL</p>
<p>ASESOR:</p>	<p>DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>PLANO: 5</p>	<p>SELLO RECIBIDO: 10</p>

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA 1:750

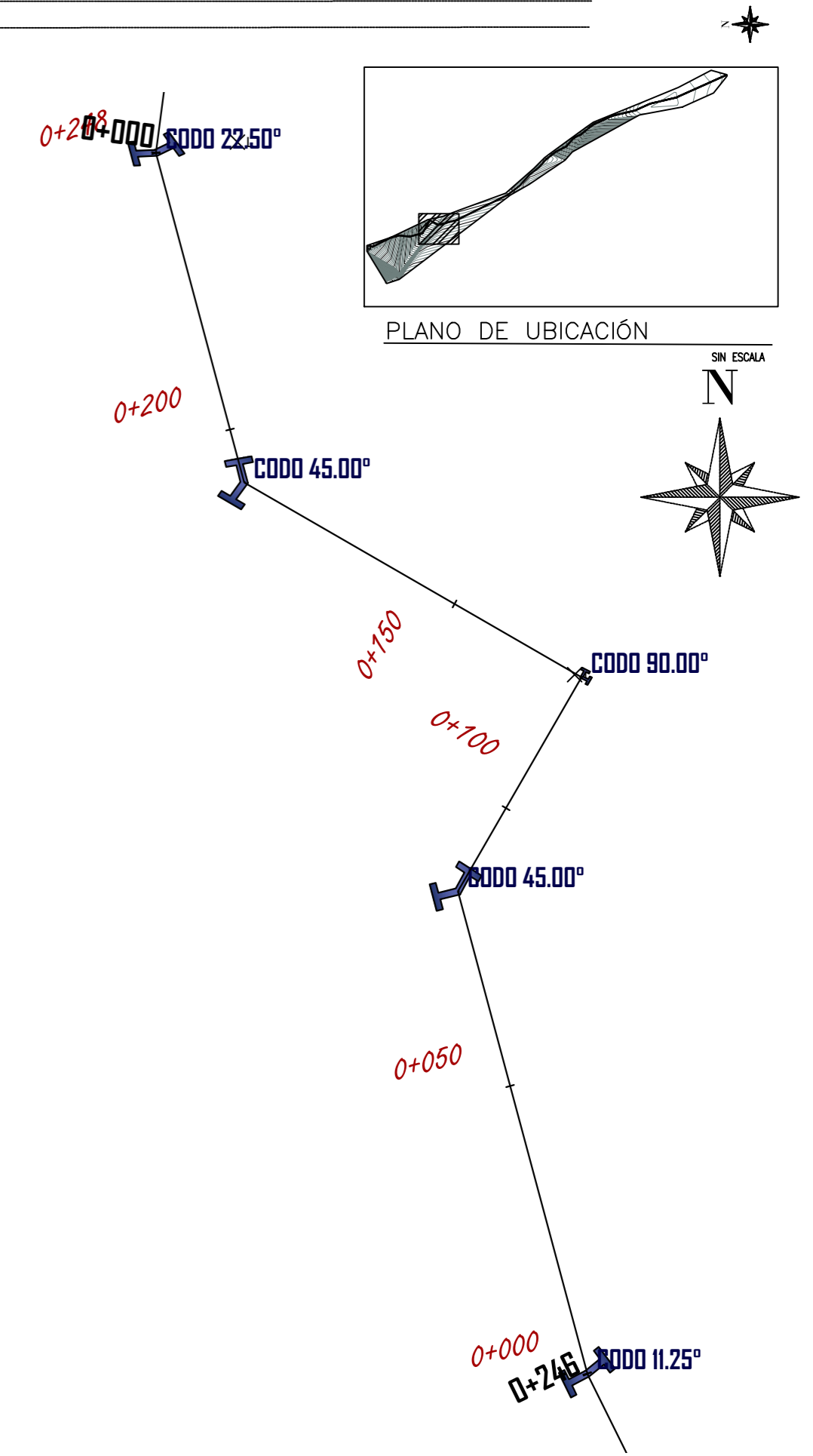
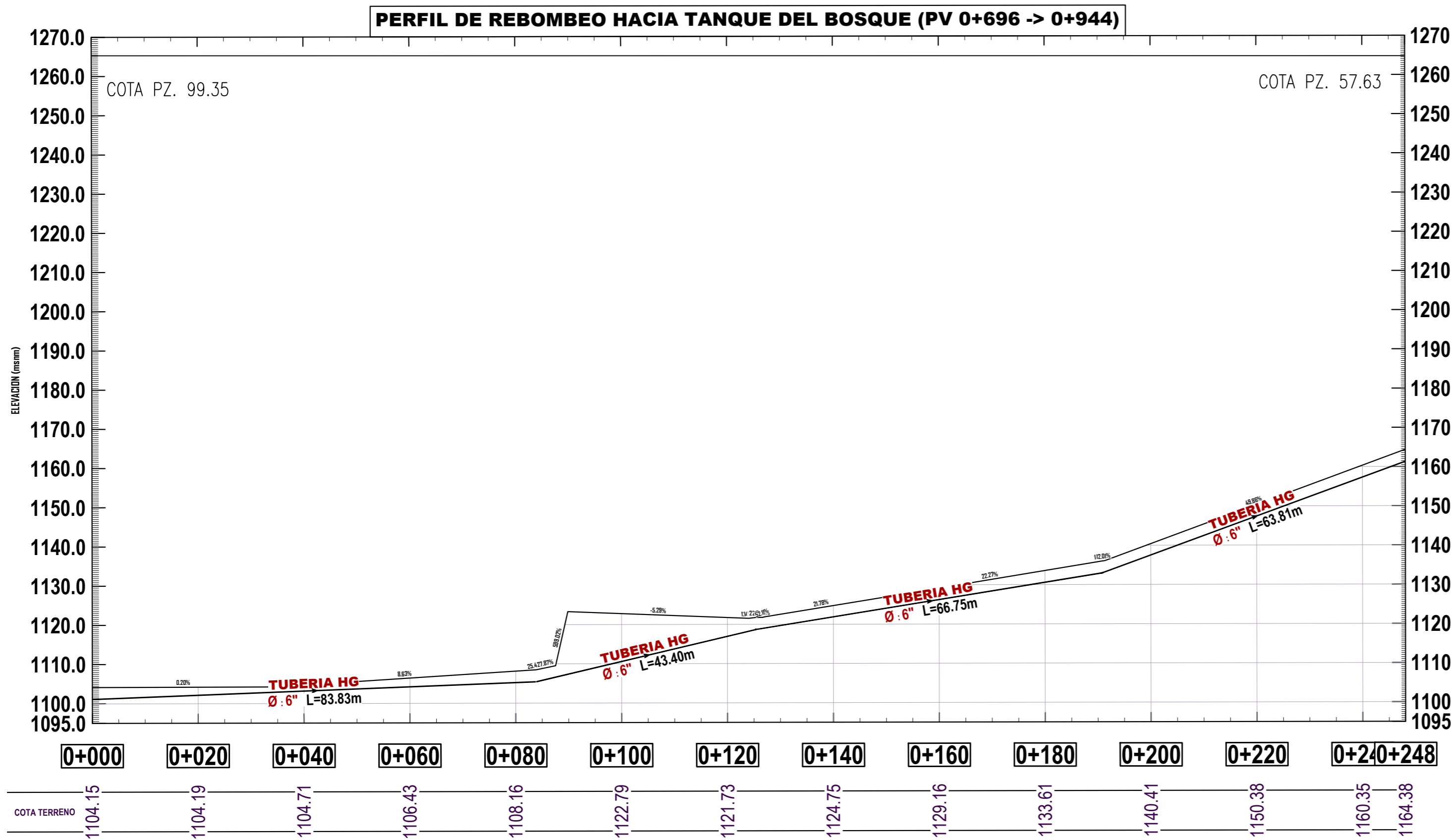
PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:1000
ESCALA HORIZONTAL 1:500

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		<p>PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESUS SACATEPEQUEZ</p>
	<p>CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION</p>		<p>LUGAR: SANTA MARÍA DE JESUS SACATEPEQUEZ</p>
<p>CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>FECHA: JULIO 2022</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>REVISÓ: ING. NORMAN SIGÚ GIL</p>
<p>ASESOR:</p>	<p>DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>PLANO: 6</p>	<p>SELLO RECIBIDO: 10</p>

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA 1:750

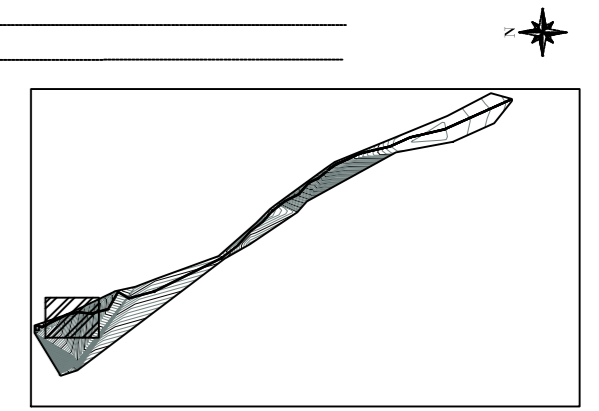
PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:1000
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

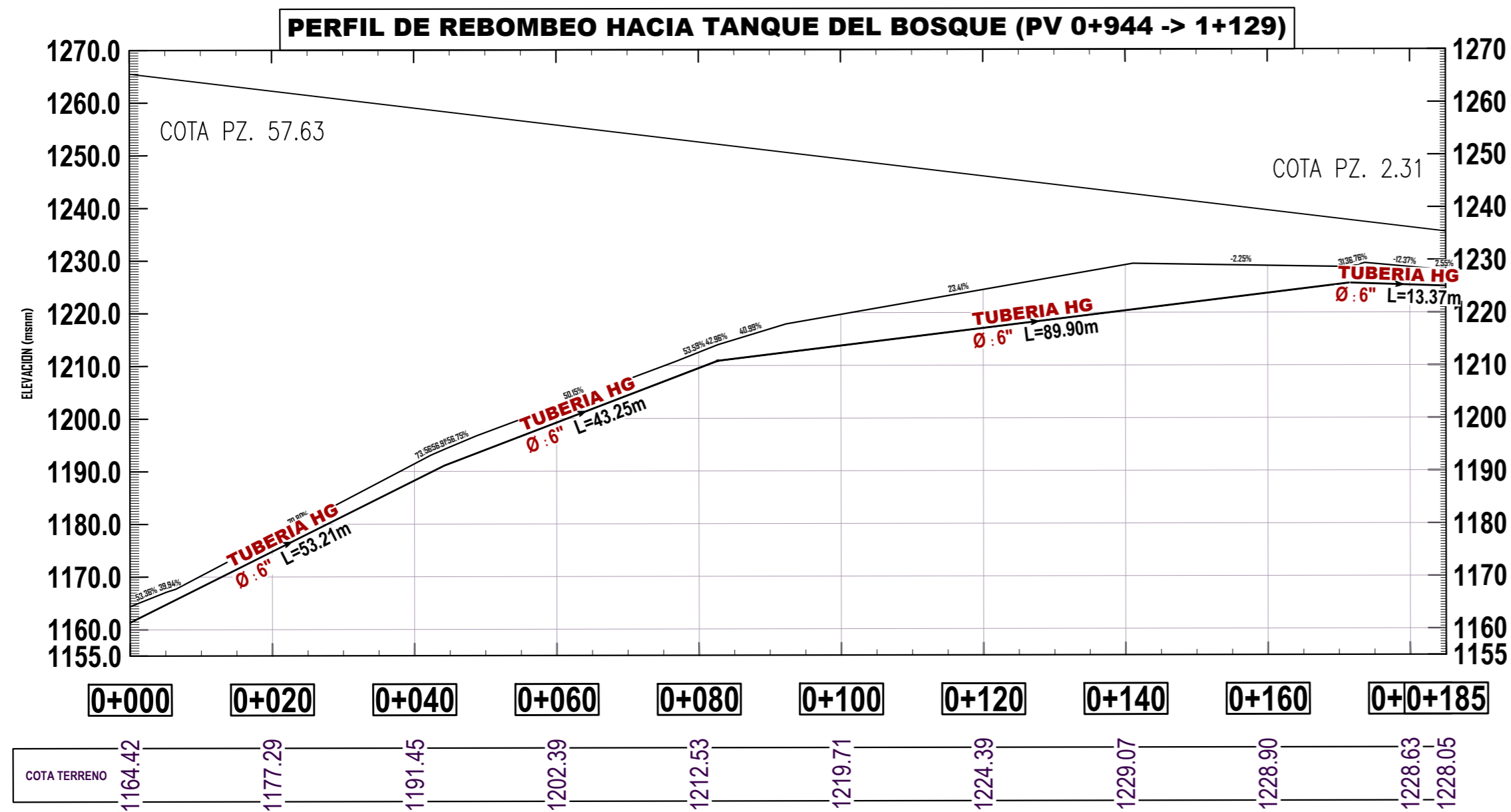
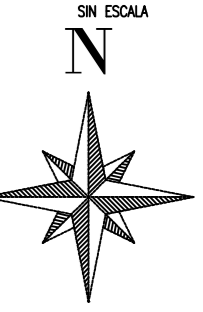
<p>FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</p>	<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		<p>PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
	<p>CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION</p>		<p>LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
<p>CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>FECHA: JULIO 2022</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>	<p>REVISÓ: ING. NORMAN SIGUI GIL</p>
<p>ASESOR:</p>	<p>DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>PLANO: 7</p>	<p>SELO RECIBIDO: 10</p>

PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCIÓN POZO NO.4, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



PLANO DE UBICACIÓN

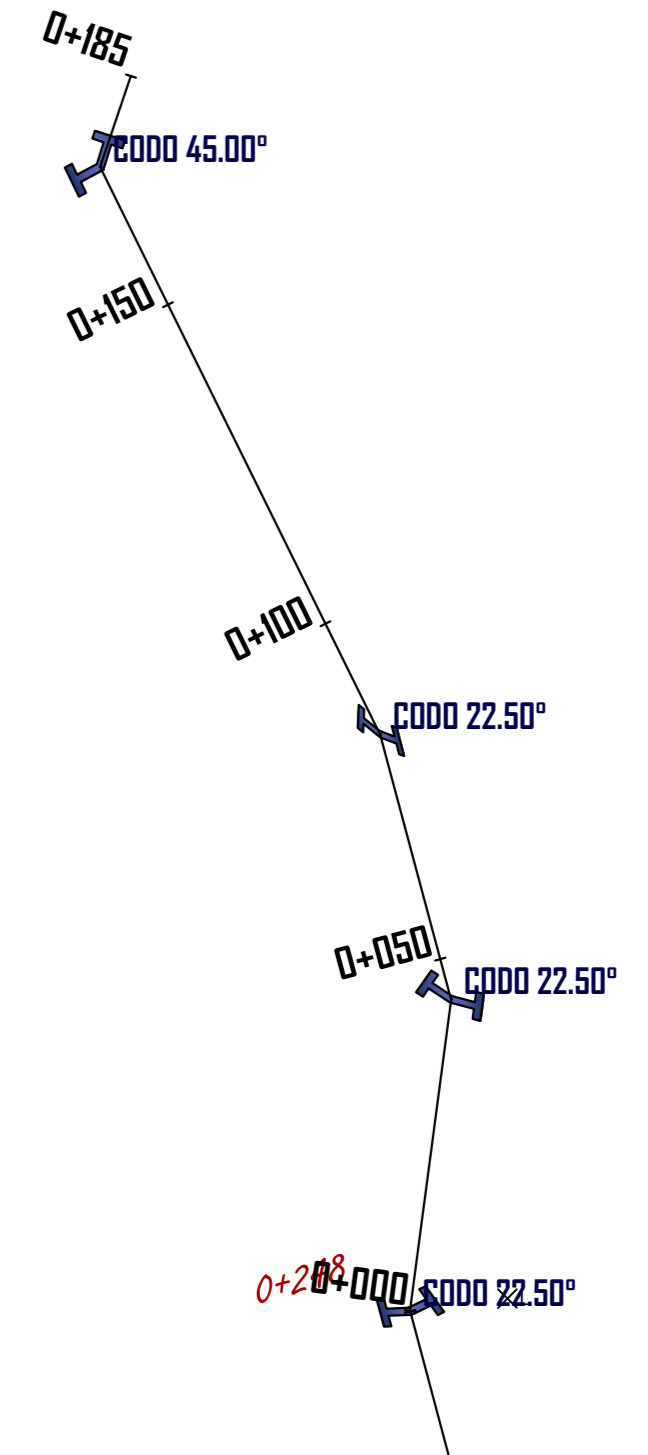
SIN ESCALA



PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:1000
ESCALA HORIZONTAL: 1:500



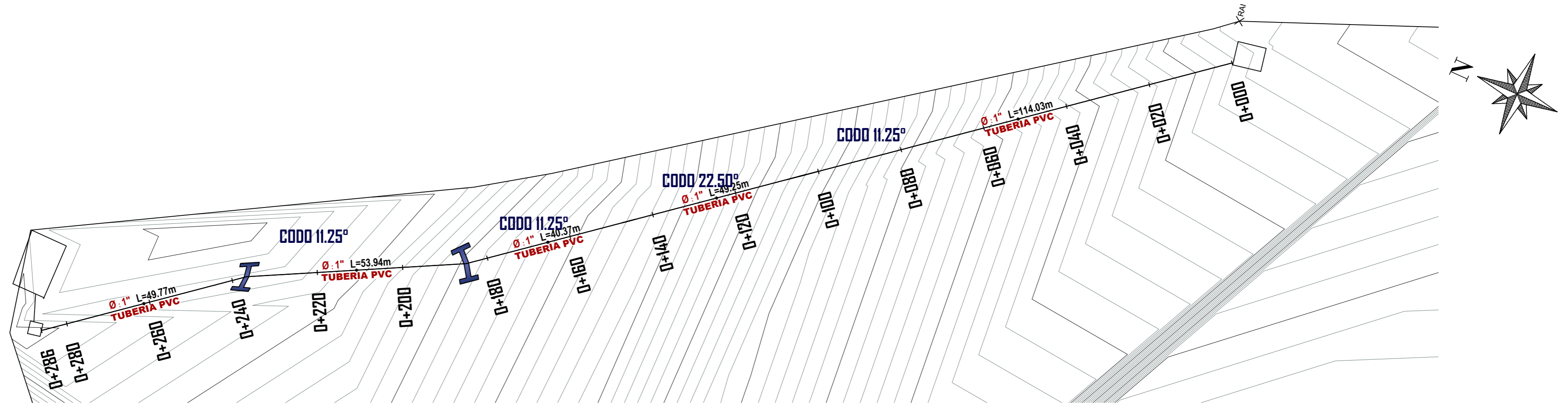
PLANTA RED DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA 1:750

<p>FACULTAD DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS</p>	<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>		<p>PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANTON DE SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p> <p>LUGAR: SANTA MARÍA DE JESÚS SACATEPEQUEZ</p>
	<p>CONTENIDO: PLANTA PERFIL RED DE CONDUCCION</p>		
<p>CALCULO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNUN TUY</p>	<p>FECHA: JULIO 2022</p>	<p>ESCALA: INDICADA</p>
<p>ASESOR</p>		<p>REVISÓ: ING. NORMAN SIGUI GIL</p>	<p>PLANO: 8</p> <p>SELLO RECIBIDO: 10</p>

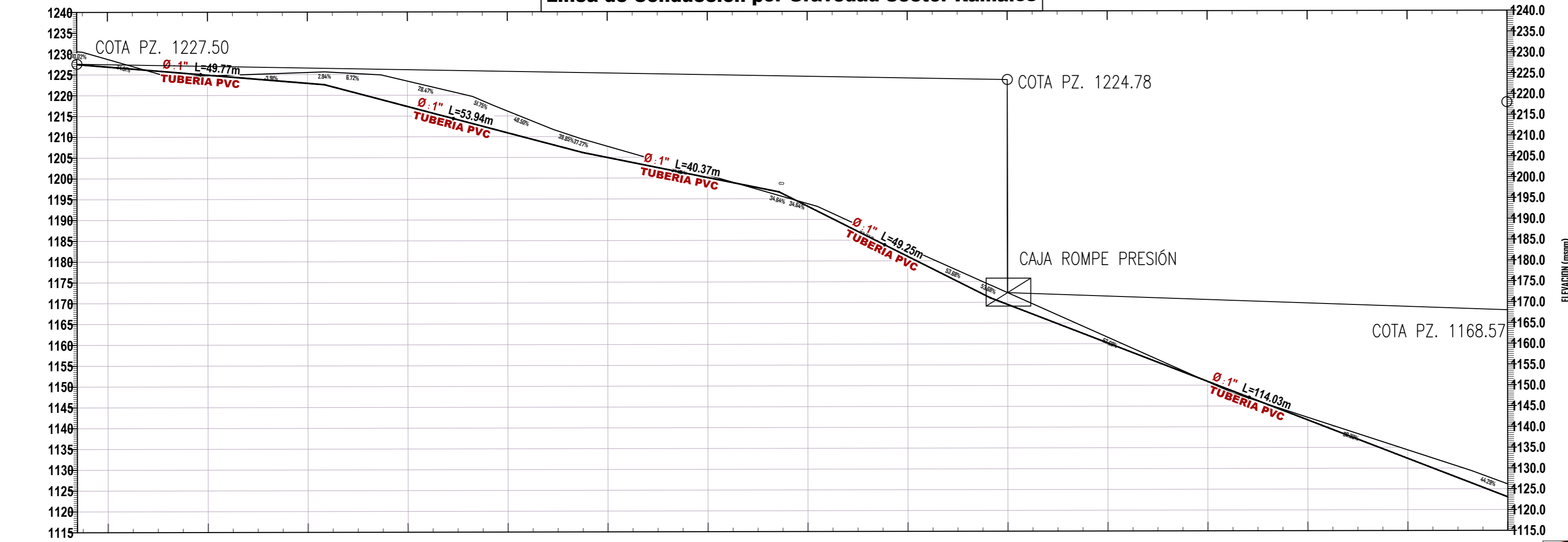
PLANTA PERFIL LINEA DE CONDUCCION POR GRAVEDAD SECTOR RAMALES, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPEQUEZ



SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA 1:500

Línea de Conducción por Gravedad Sector Rmales



PLANO DE UBICACIÓN
SIN ESCALA

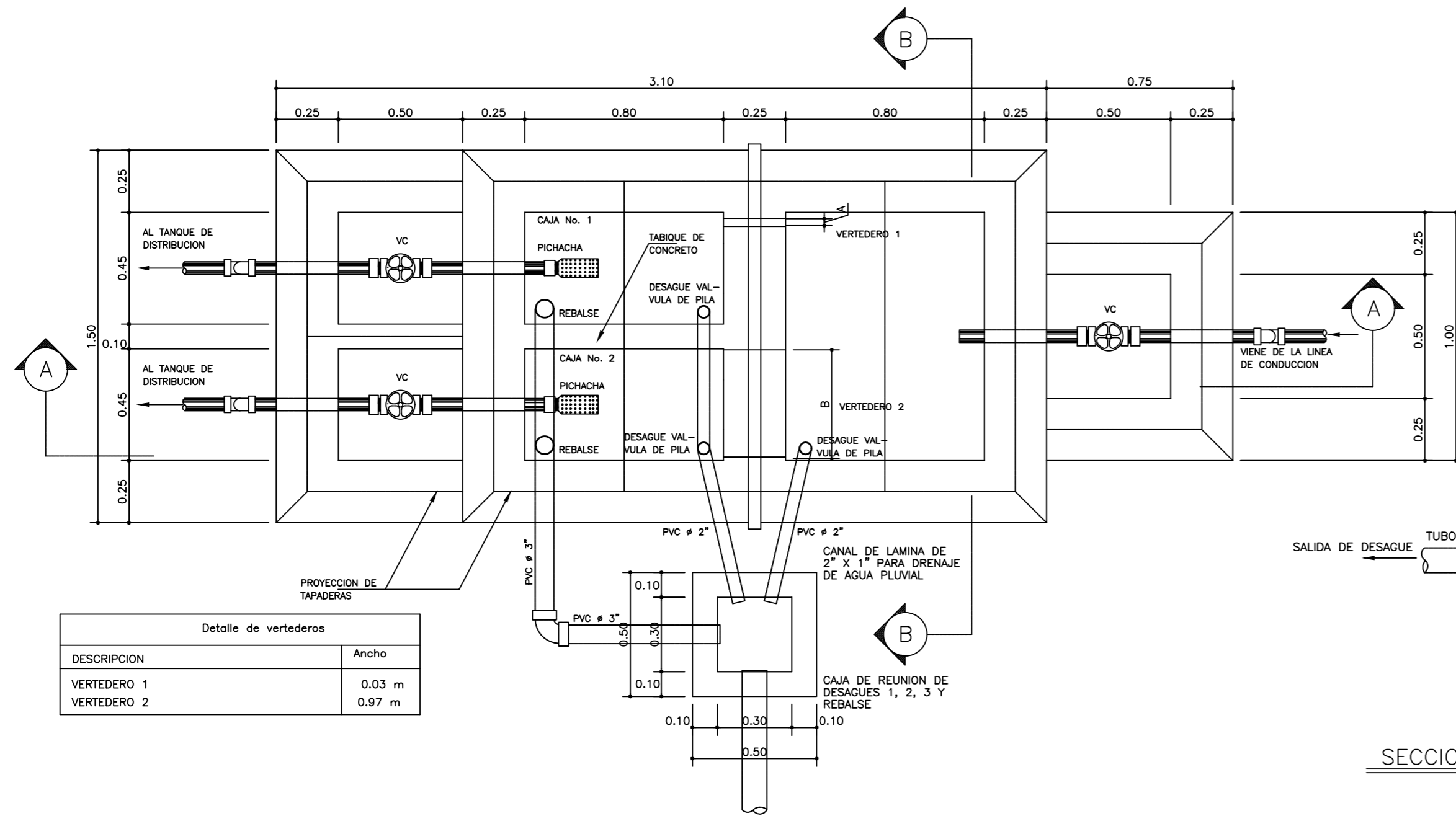
ESTACION	0+286	0+280	0+260	0+240	0+220	0+200	0+180	0+160	0+140	0+120	0+100	0+080	0+060	0+040	0+020	0+000
COTA TERRENO	1230.56	1228.72	1224.75	1225.50	1223.37	1216.15	1207.65	1200.72	1193.79	1183.10	1172.32	1161.58	1150.84	1142.24	1134.38	1126.15

PERFIL DE TERRENO Y COTA PIEZOMETRICA RED DE CONDUCCION DE AGUA POR GRAVEDAD DE TANQUE DEL BOSQUE A TANQUE RAMALES

SANTA MARÍA DE JESUS, SACATEPEQUEZ

ESCALA VERTICAL: 1:1000
ESCALA HORIZONTAL: 1:500

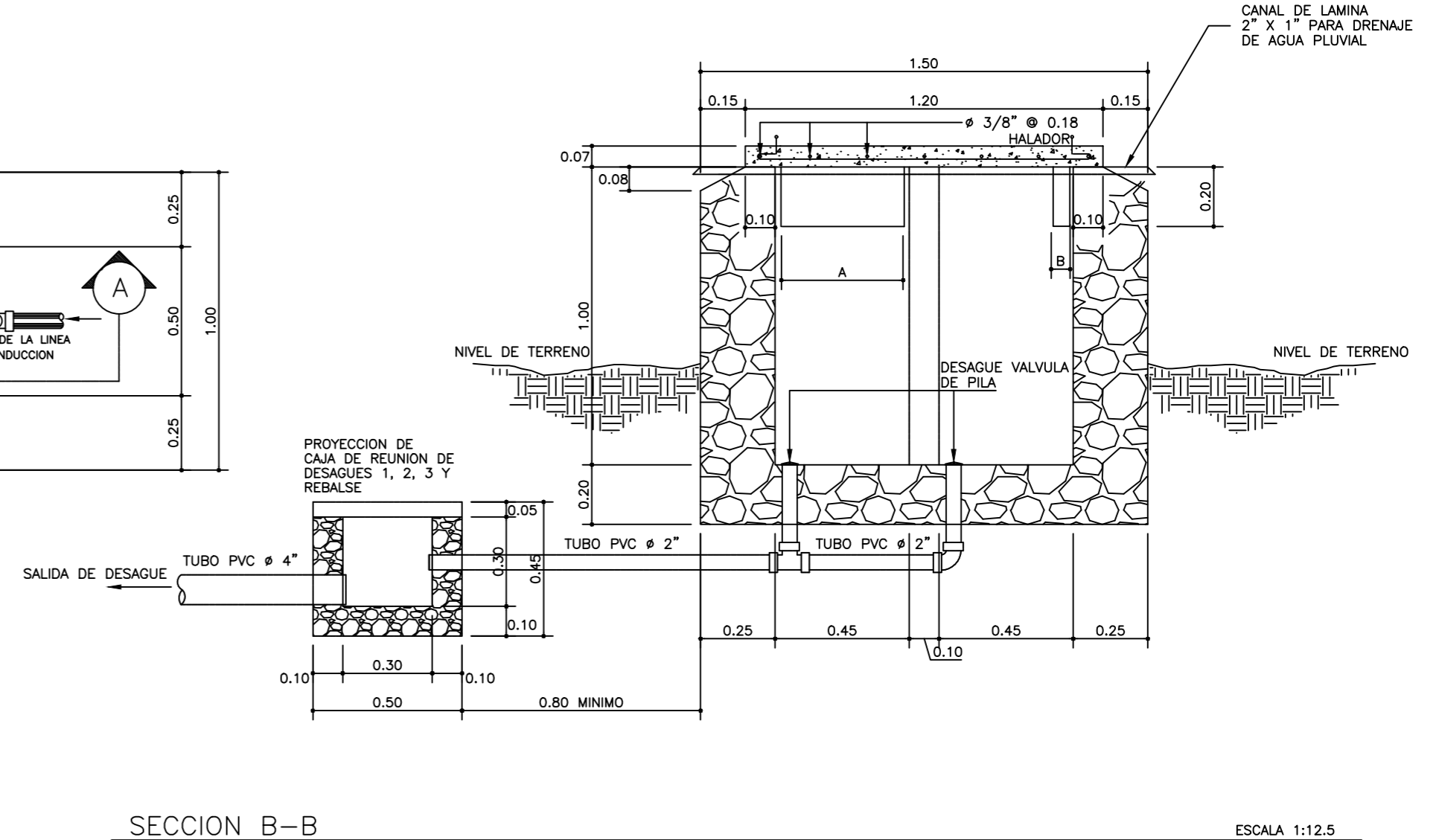
<p>MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ</p> <p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA</p>	PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DEL SEGUNDO Y CUARTO CANYÓN DE SANTA MARÍA DE JESUS SACATEPEQUEZ LUGAR: SANTA MARÍA DE JESUS SACATEPEQUEZ	
	CONTENIDO: PLANTA PERFIL LINEA DE CONDUCCION POR GRAVEDAD SECTOR RAMALES	
FECHA: ENERO 2023	ESCALA: INDICADA	
CALCULO: RONALD MIGUEL SUNIUN TUY	DIBUJO: RONALD MIGUEL SUNIUN TUY	REVISÓ: ING. NORMAN SIGÜÍ GIL
PLANO: 09		SELLO RECIBIDO: 10



Detalle de vertederos	
DESCRIPCION	Ancho
VERTEDERO 1	0.03 m
VERTEDERO 2	0.97 m

PLANTA DE CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES

ESCALA 1:12.5

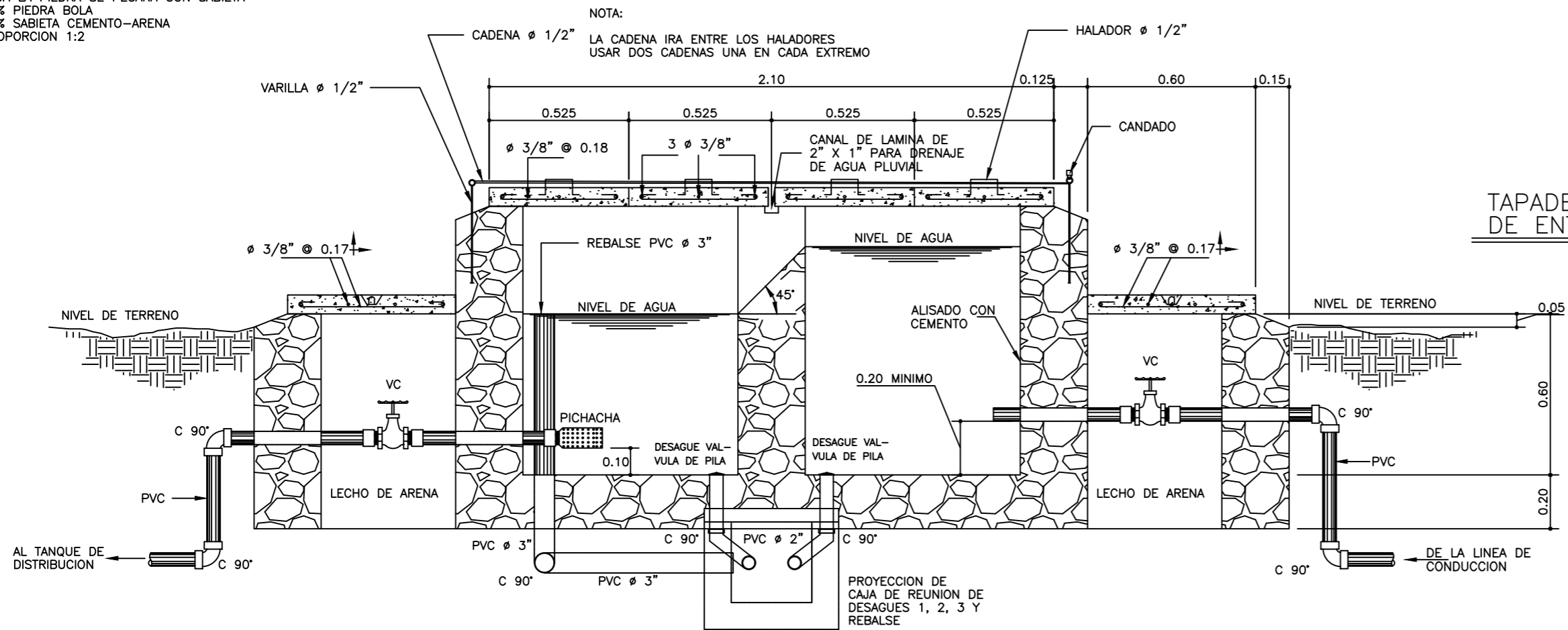


SECCION B-B

ESCALA 1:12.5

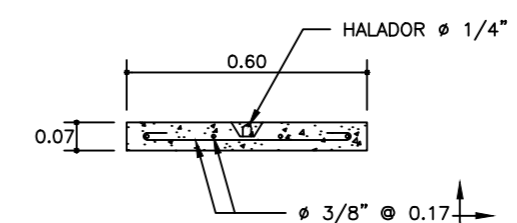
NOTA:
TODA LA PIEDRA SE PEGARA CON SABIETA
67% PIEDRA BOLA
33% SABIETA CEMENTO-ARENA
PROPORCION 1:2

NOTA:
LA CADENA IRA ENTRE LOS HALADORES
USAR DOS CADENAS UNA EN CADA EXTREMO



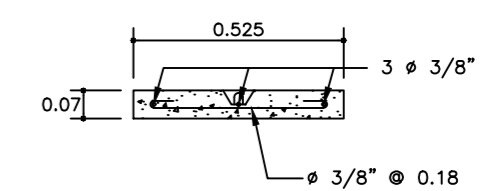
SECCION A-A

ESCALA 1:12.5



TAPADERA DE CAJA DE VALVULAS DE ENTRADA Y SALIDA

ESCALA 1:12.5



TAPADERA DE CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES

ESCALA 1:12.5

LISTA DE MATERIALES		
DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	20	sacos
PIEDRIN	0.25	m ³
PIEDRA	3.00	m ³
ARENA DE RIO	3.00	m ³
TABLA DE PINO RUSTICA 1"x12"x10"	10	U
VALVULA DE PILA Ø 2" DE BRONCE	3	U
CLAVO DE 2"	2	lbs
ALAMBRE DE AMARRE	4	lbs
ADAPTADORES MACHO	8	U
HIERRO DE 3/8"	6	var
VALVULA DE COMPUERTA	3	U
CODOS PVC Ø 2" 90°	6	U
TEE PVC Ø 2"	2	U
PICHACHA Ø SEGUN DISEÑO	2	U
TUBERIA PVC Ø 2"	1	tubo

MUNICIPALIDAD DE SACATEPEQUEZ
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES DE AGUA DE SANTA MARIA DE JESUS SACATEPEQUEZ

LUGAR: SANTA MARIA DE JESUS SACATEPEQUEZ

CONTENIDO: DETALLE DE CAJA DISTRIBUIDORA DE CAUDALES Y VERTEDEROS

FECHA: JULIO 2022

ESCALA: INDICADA

REVISOR: ING. NORMAN SIGUÍ GIL

PLANO: 10

SELO RECIBIDO: 10