



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

**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ZONA 12, FASE I**

Jenny Verónica Pérez Contreras

Asesorado por el Ing. Jeffrey Estuardo Argueta Gálvez

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ZONA 12, FASE I**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JENNY VERÓNICA PÉREZ CONTRERAS

ASESORADO POR EL ING. JEFFREY ESTUARDO ARGUETA GÁLVEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

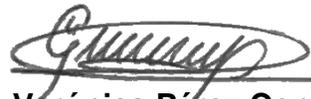
GUATEMALA, MARZO DE 2022

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:

**PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO,
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ZONA 12, FASE I**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 30 de octubre 2020.



Jenny Verónica Pérez Contreras



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria.usac.edu.gt



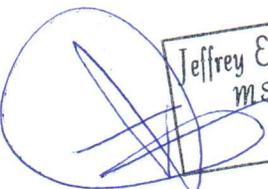
Guatemala, 1 de febrero de 2022

Ingeniero Civil
Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador del Área de Materiales de Construcción
Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Montenegro:

Por medio de la presente le comunico que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación con el tema **“PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, FASE I”**; elaborado por la estudiante de Ingeniería Civil **Jenny Verónica Pérez Contreras**, quien se identifica con Registro Académico número **201612127** y Documento Personal de Identificación **3002-27388-0101**, considerando que dicho trabajo cumple los requisitos establecidos por la Escuela de Ingeniería Civil. Por lo anterior, doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,


Jeffrey Estuardo Argueta Gálvez
M.Sc. Ing. Sanitaria
Ing. Civil
Col. 14.788

Msc. Ing. Jeffrey Estuardo Argueta Gálvez
Asesor de trabajo de graduación



Más de 130 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 8 de febrero de 2,022

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Fuentes, Le informo que he revisado el trabajo de graduación **“PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, FASE I”**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Jenny Verónica Pérez Contreras**, quién contó con la asesoría del Ing. Jeffrey Estuardo Argueta Gálvez

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Hugo Leonel Montenegro Franco
Jefe de área de materiales y construcciones civiles.





LNG.DIRECTOR.068.EIC.2022

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: **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, FASE I**, presentado por: **Jenny Verónica Pérez Contreras**, 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 2022





Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.176.2022

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: **PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, FASE I**, presentado por: **Jenny Verónica Pérez Contreras**, 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 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la inteligencia y la disciplina para estudiar ingeniería. A Él sea la gloria.
- Mis padres** Hugo Pérez y Jenny Contreras, por apoyarme en todo momento. Gracias a ustedes soy lo que soy y estoy donde estoy.
- Mis hermanas** Renata y Alexia Pérez Contreras, sé que no soy una hermana perfecta, pero espero que aprendan lo mejor de mí y me superen.
- Ing. Murphy Paiz** Por apoyarme en la última etapa de la carrera y ayudar a que esta tesis fuera posible.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de recibir educación superior de calidad.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar durante horas de estudio.
Mis amigos de la Facultad	José Sotoj, André Herrarte, Steven España, Dulce Castellanos y Leonel Vivar, por noches de desvelos, momentos de risas, apoyo y haber hecho que esos 5 años valieran la pena. Noe Ren, por presionarme y ayudarme a terminar esta tesis.
Ing. Jeffrey Argueta	Por todo el apoyo y paciencia que me brindó durante las prácticas y la realización de esta tesis.
Ing. Ricardo Pinetta	Por todo su apoyo para graduarme y sus enseñanzas profesionales.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Reseña histórica del alcantarillado en la Ciudad de Guatemala ..	1
1.2. Plan Maestro de Drenajes de la Municipalidad de Guatemala.....	3
1.3. Erosión en la Universidad de San Carlos de Guatemala	4
1.4. Proceso constructivo de los primeros alcantarillados en la Ciudad de Guatemala	7
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Definición de un sistema de alcantarillado	11
2.2. Componentes del sistema de alcantarillado.....	12
2.2.1. Pozos de visita/registro.....	12
2.2.1.1. Cono de ingreso.....	13
2.2.1.2. Cilindro.....	13
2.2.1.3. Depósito.....	13
2.2.2. Cajas de caída.....	16
2.2.3. Cajas de inspección.....	17
2.2.4. Conexiones domiciliarias.....	17
2.2.5. Colectores	18

2.2.6.	Obras hidráulicas complementarias	19
2.2.6.1.	Descarga	20
2.2.6.1.1.	Cabecal.....	20
2.2.6.1.2.	Zona de degradación	21
2.2.6.2.	Derivadores de caudal.....	22
2.2.6.3.	Disipadores de energía.....	22
2.2.6.4.	Sifones invertidos	26
2.2.6.5.	Estructuras de bombeo.....	29
2.3.	Diseño de alcantarillado	29
2.3.1.	Diseño hidráulico.....	30
2.3.1.1.	Alineamiento vertical.....	30
2.3.1.2.	Alineamiento horizontal	31
2.3.1.3.	Tipo de sistema	31
2.3.1.3.1.	Agua pluvial	31
2.3.1.3.2.	Agua residual	32
2.3.1.3.3.	Sistema combinado.....	32
2.3.1.4.	Periodo de diseño.....	33
2.3.1.5.	Caudal de diseño.....	33
2.3.1.5.1.	Caudal doméstico	34
2.3.1.5.2.	Caudal pluvial	36
2.3.1.6.	Secciones y pendientes.....	39
2.3.1.7.	Profundidad de colectores	40
2.3.2.	Diseño estructural	41
2.4.	Estudios para la construcción de alcantarillados	41
2.4.1.	Topografía.....	42
2.4.2.	Geología del terreno.....	43
2.4.3.	Sondeos	43
2.4.3.1.	Sondeos a percusión.....	44
2.4.3.2.	Sondeos a rotación.....	44

	2.4.3.3.	Sondeo eléctrico vertical	45
	2.4.4.	Ensayo de penetración estándar	46
2.5.		Métodos de construcción de alcantarillados	47
	2.5.1.	Métodos de excavación	47
	2.5.1.1.	Excavación de túneles	47
		2.5.1.1.1. Excavación manual	52
		2.5.1.1.2. Excavación mecánica....	52
		2.5.1.1.3. Perforación y voladura...	53
	2.5.2.	Métodos de fundición.....	53
	2.5.2.1.	Revestimiento	53
		2.5.2.1.1. Concreto proyectado	54
		2.5.2.1.2. Encofrado con anillos	55
		2.5.2.1.3. Dovelas prefabricadas...	55
	2.5.3.	Tubos prefabricados	56
2.6.		Supervisión en alcantarillados	57
	2.6.1.	Pozos de visita y de registro.....	57
	2.6.2.	Colectores	58
	2.6.3.	Descargas	59
2.7.		Seguridad ocupacional en la construcción de alcantarillados	59
	2.7.1.	Operación en excavación convencional	60
	2.7.2.	Operación en excavación mecanizada	60
3.		CONSTRUCCIÓN DEL ALCANTARILLADO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	63
	3.1.	Diseño del alcantarillado USAC	63
	3.2.	Estudios preliminares.....	65
	3.2.1.	Estudio geológico-geofísico.....	65
		3.2.1.1. Reconocimiento geológico	65
		3.2.1.2. Estructura regional	65

3.2.1.3.	Estratigrafía	66
3.2.2.	Topografía	67
3.2.3.	Prospección geofísica	67
3.2.4.	Ensayo de penetración estándar	70
3.3.	Trabajos preliminares	71
3.4.	Excavación	71
3.4.1.	Excavación de pozos de visita	71
3.4.2.	Excavación de pozos de construcción	72
3.4.3.	Excavación del túnel para colector	72
3.4.3.1.	Procedimiento	72
3.4.3.2.	Precauciones especiales	73
3.4.3.3.	Iluminación	74
3.4.3.4.	Ventilación	76
3.5.	Estudios realizados durante la excavación	76
3.5.1.	Inspección de pozos de visita	76
3.5.2.	Inspección del túnel para colector	78
3.6.	Armado	79
3.6.1.	Armado del colector	79
3.6.1.1.	Sección de 2,75 m de diámetro	80
3.6.1.2.	Sección de 3,00 m de diámetro	81
3.6.2.	Armado de pozos de visita	82
3.6.2.1.	Cimiento	82
3.6.2.2.	Cilindro	83
3.6.2.3.	Cono	84
3.7.	Formaleta	85
3.8.	Fundición	86
3.8.1.	Fundición de colector	87
3.8.1.1.	Avionetas	89
3.8.1.2.	Conductos	90

3.8.2.	Fundición de pozos de visita	91
3.9.	Desformateado.....	91
3.10.	Curado	91
3.11.	Acabados finales.....	92
3.12.	Relleno de derrumbes.....	93
3.12.1.	Inferiores a los 15 centímetros	93
3.12.2.	Entre 16 centímetros y 1 metro	94
3.12.3.	Superiores a 1 metro	94
3.12.4.	Superior a los 6 metros.....	94
3.13.	Relleno de los pozos de construcción.....	94
3.14.	Obras complementarias	95
3.14.1.	Descarga	95
3.14.1.1.	Excavación de dissipador de energía	95
3.14.1.2.	Armadura de acero del dissipador de energía.....	97
3.14.1.3.	Fundición del dissipador de energía	97
3.14.1.4.	Cabezal de salida	99
3.14.1.5.	Gaviones.....	100
3.14.2.	Interconexión	101
3.14.2.1.	Pozo de visita PV1	101
3.14.2.2.	Preparación del terreno	103
3.14.2.3.	Colector.....	109
3.14.2.3.1.	Armadura.....	109
3.14.2.3.2.	Fundición.....	110
3.14.2.4.	Relleno.....	111
3.14.2.5.	Cunetas y vertederos.....	113
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	115

CONCLUSIONES..... 119
RECOMENDACIONES 121
BIBLIOGRAFÍA..... 123
APÉNDICES..... 131
ANEXOS..... 179

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Erosión ocasionada por el mal manejo de aguas combinadas	6
2.	Interior de un colector antiguo.....	8
3.	Excavación de un túnel para colector	9
4.	Colocación de formaleta de madera para fundición de colector.....	10
5.	Componentes de los pozos de visita.....	14
6.	Pozo de visita común	15
7.	Pozo tipo caja.....	16
8.	Conexión domiciliar	18
9.	Colector.....	19
10.	Descarga de aguas residuales.....	20
11.	Cabezal para alcantarillado.....	21
12.	Zona de degradación de descarga.....	22
13.	Disipador de caída vertical	23
14.	Disipador salto de esquí.....	24
15.	Disipador de tanque amortiguador	24
16.	Disipador de pozo de bandejas.....	25
17.	Disipador descargador a vórtice.....	26
18.	Sifón de ramas oblicuas	27
19.	Sifón con pozo vertical	28
20.	Sifón con ramales verticales	28
21.	Sifón con cámara de limpieza	29
22.	Elementos de un túnel.....	48
23.	Método inglés.....	49

24.	Método belga	50
25.	Método alemán	51
26.	Método austriaco	52
27.	Tipos de anillos y dovelas en revestimiento de túneles	56
28.	Entibado en zona de derrumbes	74
29.	Contador en la superficie	75
30.	Iluminación dentro del túnel	75
31.	Armado del piso del colector.....	81
32.	Armado de la clave del colector	82
33.	Armado del cimientto del PV3.....	83
34.	Formaletas de madera para los pozos.....	86
35.	Camión de concreto premezclado	87
36.	Fundición del piso del colector.....	88
37.	Fundición de la clave del colector	88
38.	Uso de avionetas para bajar el concreto.....	89
39.	Implementación de conductos para bajar concreto fresco	90
40.	Curado del concreto en el colector	92
41.	Aplicación de mortero en las juntas del colector	93
42.	Desvío del río.....	96
43.	Excavación del dissipador de energía	96
44.	Armadura del dissipador de energía.....	97
45.	Fundición de muros del dissipador energía	98
46.	Fundición de gradas del dissipador de energía	99
47.	Fundición del cabezal de salida del colector.....	100
48.	Gaviones en la descarga	101
49.	Desvío del caudal de aguas residuales	102
50.	Excavación del PV1	103
51.	Vaciado de la posa de agua residual	104
52.	Excavación área interconexión	105

53.	Primera capa de roca para base de la interconexión	106
54.	Segunda capa para base de la interconexión	107
55.	Segunda capa para base de la interconexión	108
56.	Segunda capa para base de la interconexión	109
57.	Armado del colector en la interconexión	110
58.	Fundición del colector en la interconexión	111
59.	Relleno del colector en la interconexión.....	112
60.	Compactación del relleno del colector en la interconexión.....	113
61.	Vertedero y cunetas en la interconexión	114

TABLAS

I.	Parámetros para la determinación del caudal doméstico.....	34
II.	Parámetros para la determinación del factor de flujo instantáneo.....	35
III.	Tiempo de entrada en tramos iniciales.....	38
IV.	Impermeabilidad relativa	39
V.	Velocidad máxima en tuberías de concreto	40
VI.	Parámetros de diseño para el alcantarillado de la USAC.....	63
VII.	Secuencia de arreglos de electrodos utilizados en el estudio SEV.....	67
VIII.	Coordenadas de ubicación de los sondeos.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área a drenar en hectáreas
Q	Caudal
Qmd	Caudal máximo diario
Qmh	Caudal máximo horario
Cm	Centímetros
PVC	Cloruro de polivinilo (material de tubo plástico)
C	Coeficiente de rugosidad
Ci	Cota Invert (m)
Nc	Factor de capacidad de carga por cohesión
Nq	Factor de capacidad de carga por sobrecarga efectiva
”	Pulgadas
Hab	Habitantes
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
lt/hab/día	Litro por habitante por día
lts/s	Litros por segundo
lts/seg/ha	Litros por segundo por habitante
M	Metro
m²	Metro(s) cuadrados
m³/s	Metro(s) cúbicos sobre segundo
mm	Milímetro
mm/h	Milímetros por hora

%

Porcentaje

SEV

Sondeo eléctrico vertical

Vol

Volumen

GLOSARIO

Agua potable	Aquella sanitariamente segura, también es inodora, incolora y agradable a los sentidos.
Aguas combinadas	La combinación de aguas residuales con aguas pluviales.
Aguas pluviales	El agua que proviene de la lluvia que no es absorbida por el suelo, sino que escurre de edificios, calles, estacionamientos y otras superficies.
Aguas residuales	Los desperdicios líquidos y sólidos transportados por agua procedentes de viviendas, instituciones industriales y comerciales.
Carga muerta	Peso propio de una estructura y de todas las cargas inmóviles constantes en magnitud y asignadas, permanentemente a la misma.
Carga viva	Cargas no permanentes y que varían durante el emplazamiento de la estructura.
Caudal	Corresponde al volumen de agua que pasa por unidad de tiempo, en un determinado punto de observación, en un instante dado.

CEDESVD	Centro de Estudios de Desarrollo Seguro y Desastres.
Clave	Media sección superior del colector.
Colector	Conjunto de tuberías, pozos de visita y obras accesorias que se utilizarán para la descarga de las aguas servidas o aguas de lluvia.
Concreto	Material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, arena pedrín y agua.
Conexión	Tubería que conduce las aguas negras desde el domiciliar interior de la vivienda, hasta la candela.
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
Cotas Invert	Las alturas o cotas de la parte inferior de una tubería ya instalada.
Descarga	Lugar donde se descargan las aguas servidas o negras que provienen de un colector.
Desfogue	Salida del agua de desecho en un punto determinado.
Dotación	Corresponde a la cantidad de agua necesaria para consumo de una persona por día.

Entibado	Apuntalar, fortalecer con maderas y codales las excavaciones en estructuras que ofrecen riesgo de derrumbamiento.
Escantillones	Regla, patrón o plantilla para trazar líneas.
Inspección	Serie de actividades y procesos técnicos que logran definir el desarrollo de una actividad.
Lodocreto	Material cementante de consistencia fluida que permite su auto compactación, utilizado primordialmente como material de relleno.
Mampostería	Obra de fábrica hecha de mampuesto o piedras sin labrar, o labradas toscamente, unidas con mortero.
Mortero	Argamasa o mezcla usados en albañilería, como arena, cemento, entre otros.
Patógeno	Agentes capaces de provocar enfermedades, en otras palabras, que contaminan y generan enfermedades.
Pérdida de carga	Cambio que experimenta la presión, dentro de la tubería, por motivo de la fricción.
Pozo de visita	Estructura subterránea que sirve para cambiar de dirección, pendiente, diámetro, y para iniciar un tramo de tubería.

Presión	Corresponde a la fuerza ejercida sobre una superficie.
R. M. R.	Reformita, Mariscal, Roosevelt.
Saneamiento	Actividad que tiene por objeto recoger, transportar evacuar y depurar las aguas servidas de un asentamiento humano.
Segregación	Separación de los agregados gruesos y finos de la pasta de cemento provocando que este sea más débil y menos durable.
SPT	Tipo de prueba de penetración dinámica empleada para ensayar terrenos en los que se requiere realizar un reconocimiento geotécnico.
Suelo	Material con arreglo variable de partículas que dejan entre ellas una serie de poros conectados unos con otros para crear una compleja red de canales de distintas magnitudes que se comunican tanto con la superficie del terreno, las fisuras y grietas del mismo.
Suelo cemento	Mezcla en seco de suelo con determinadas características granulométricas y cemento Portland.
Suelo no cohesivo	Suelo, cuyas partículas no tienden a juntarse ni adherirse entre sí.

Topografía	Arte de representar un terreno en un plano, con su forma, dimensiones y relieve.
Tramo	Es el comprendido entre los centros de dos pozos de visita consecutivos.
<i>Winches</i>	Herramienta que está diseñada para jalar una carga a través de una superficie horizontal, impulsado por un motor eléctrico hidráulico que hace funcionar una serie de engranajes que, a su vez encienden otro que hace que el cable del <i>winch</i> funcione.

RESUMEN

El sistema de alcantarillado de la Ciudad de Guatemala está compuesto por grandes colectores subterráneos construidos, aproximadamente hace 70 años. El actual reglamento que rige el diseño y construcción de dicho sistema data del año 1964, a la fecha no ha sido actualizado.

En la última década, la inadecuada disposición de aguas combinadas del colector R. M. R., ubicada entre la colonia El Carmen y la Universidad de San Carlos de Guatemala, ha afectado el entorno poniendo en riesgo la salud y seguridad de las personas de los alrededores.

Como solución a este problema, la Universidad de San Carlos de Guatemala junto con la municipalidad de Guatemala y el Gobierno de Guatemala acordaron construir un sistema de alcantarillado en la quebrada El Frutal para conducir las aguas combinadas lejos del área que está en riesgo.

En general, este proyecto fue realizado de manera artesanal. La excavación de los pozos y del túnel para el colector se realizó de forma manual en su totalidad. Por el tipo de suelo fue necesario realizar estudios geotécnicos durante la ejecución del proyecto. Las formaletas utilizadas fueron hechas de madera, aplicando el método de formaletas deslizantes. La fundición se llevó a cabo por medio de tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) como elemento conductor del concreto premezclado.

El presente trabajo tiene como objetivo registrar los trabajos realizados durante la ejecución del proyecto y servir como guía para futuras obras de alcantarillado combinado, ya que no existen registros actuales en el país para este tipo de proyectos de construcción.

OBJETIVOS

General

Describir el proceso constructivo en el sistema de alcantarillado del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fase I.

Específicos

1. Identificar los tipos de estudios que se realizaron durante el proceso constructivo del alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
2. Describir los diferentes tipos de obras complementarias utilizadas en la construcción del alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
3. Registrar la metodología de construcción de los pozos y colector realizados para el alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Desde 1963 y 1972, dos grandes colectores, el R. M. R. Reformita-Mariscal-Roosevelt y el 10,13,14, respectivamente, cumplen con la función de desfogar el agua pluvial y sanitaria de la cuenca norte de la Ciudad de Guatemala. Sin embargo, en los últimos años el sistema de colectores que libera toda la zona 11 y parte de la zona 12, ha colapsado debido al crecimiento demográfico y al desarrollo industrial de esta área.

El caudal de agua que circula por el sistema R. M. R desemboca entre la Universidad de San Carlos de Guatemala y la colonia El Carmen. Sin embargo, en los últimos años han provocado la erosión del terreno en dicha zona, específicamente en el parque ecológico Las Ardillas, ubicado en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Debido a esto, existe la necesidad de mejorar el sistema de alcantarillado del lugar, ampliando el sistema de colectores subterráneo y mejorando la localización y la infraestructura del área de desfogue.

Desde que se construyó todo el sistema de colectores de gran diámetro de la ciudad, no ha habido otra construcción de alcantarillado de semejante magnitud. Durante el proceso de construcción se descubrió que el único manual de túneles que existe en Guatemala fue escrito hace aproximadamente 60 años. Por esta razón, el presente trabajo pretende dejar por escrito la metodología y el proceso constructivo de este proyecto. Asimismo, será una guía para los proyectos similares a futuro.

1. ANTECEDENTES

“El alcantarillado más antiguo del que se tiene referencia fue construido en Nippur, India, alrededor del 3750 a.C. Luego, en 1700 a.C. se construyeron verdaderos sistemas de alcantarillado en Atenas y Corintio, Antigua Grecia”¹. Estos estaban contruidos con canales rectangulares cubiertos de losas, llamado atarjeas, que formaban primitivas redes de alcantarillado, ya que a estos aflúan conductos secundarios. Sin embargo, en la historia del alcantarillado destacan los romanos, quienes construían canales subterráneos previo a edificar una ciudad.

En el siglo XII, Europa implementó el método antiguo construyendo canales debajo de las avenidas principales de las ciudades. El primer sistema de alcantarillado como se conocen actualmente, fue diseñado en Hamburgo, Alemania en 1842. Este consideraba las condiciones topográficas y las necesidades reales de la comunidad

1.1. Reseña histórica del alcantarillado en la Ciudad de Guatemala

En 1776 fue fundada la Ciudad de Guatemala en el Valle de la Ermita, localizada a 14° 37' latitud norte y 90° 31' longitud oeste, sobre el altiplano situado en la división Pacífico-Atlántica de escorrentía de agua. Por este motivo, la Ciudad de Guatemala se divide en dos cuencas: la Atlántica, que posee un sistema de drenaje combinado de aguas pluviales y aguas sanitarias fluyendo por un mismo conducto; y la Pacífica, en la que las aguas fluyen en conductos separados.

¹ MOLINA ACEVEDO, Luis Carlos. *Mierda: símbolos y significado*. p. 30.

Con el traslado de Antigua Guatemala hacia el Valle de la Ermita, nació la necesidad de canalizar las aguas residuales y pluviales para desfogarlas. Esto no era difícil en la capital por la topografía, pues Guatemala está rodeada de barrancos que son colectores de primer orden.

En 1895 fue publicado un estudio sobre la deficiencia del alcantarillado en la Ciudad de Guatemala, que consistía en atarjeas, junto con una propuesta para mejorar las condiciones higiénicas de la ciudad. Sin embargo, fue hasta en 1959 que se empezó la construcción de los grandes colectores de la ciudad.

Asimismo, en sus inicios, los colectores se construyeron con ladrillo tayuyo con revestimiento de mortero de cemento, denominados tabujillas. Seguidamente se fue implementando el uso de concreto reforzado, gracias al *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes* que entró en vigencia en 1964.

En 1970, la capital de Guatemala era considerada una de las más contaminadas de Latinoamérica debido al persistente déficit de colectores primarios. Esto llevó al alcalde de la ciudad, Manuel Colom Argueta, a planificar el Esquema Director de Ordenamiento Metropolitano, conocido como EDOM 1972-2000, para corregir la estructura de la ciudad. No obstante, las siguientes administraciones no le dieron importancia y quedó en el olvido.

La infraestructura de la red de alcantarillado de la Ciudad de Guatemala se encuentra normada en los reglamentos vigentes: *Reglamento para diseño y construcción de drenajes para la Ciudad de Guatemala* y *Reglamento del servicio público de alcantarillado y drenajes para el municipio de Guatemala*.

Actualmente, los grandes colectores principales que drenan la cuenca norte de la ciudad son el Reformita-Mariscal-Roosevelt R. M. R. del lado poniente, y el 10, 13, 14 del lado oriente.

1.2. Plan Maestro de Drenajes de la Municipalidad de Guatemala

“El Plan Maestro de drenajes de la Municipalidad de Guatemala fue realizado en el 2003, por el gobierno de Austria y en el año 2010 fue actualizado por ingenieros del Centro Universitario de Occidente”².

Este contiene información acerca de la construcción de dos colectores madre que corren de sur a norte y paralelamente en los barrancos del oriente y del poniente de la ciudad. Ambos se reúnen en un punto determinado al norte de la ciudad y encausan las aguas hacia su disposición final.

El capítulo uno de este reglamento ofrece la presentación y aprobación de proyectos, determinando que todos los proyectos de obras de drenajes a realizarse en la ciudad de Guatemala, dentro del perímetro del área de influencia urbana deben ser aprobados previo a su ejecución por el Departamento de Drenajes de la Municipalidad de Guatemala, entre otras características.

En este mismo sentido cabe resaltar que la inspección de un sistema de alcantarillado es imprescindible, porque el sistema de drenajes es considerado un servicio básico, por esto la cobertura de dichas redes en la ciudad aumentan en referencia con la cobertura de redes de agua potable; esto provoca la

² ALVARADO, Mirna. *Las inundaciones tienen un denominador común: la ineficiencia de las autoridades*. La Prensa. 2019. p. 12.

necesidad tanto de mantenimiento como de inspección del funcionamiento de las obras de alcantarillado.

La inspección de dichos sistemas es de suma importancia debido a los costos de este tipo de proyectos, porque se considera un medio razonable para lograr una mejor administración de recursos, considerando que los fondos con que cuenta la empresa a realizar el proyecto provienen solamente de la tasa de alcantarillado. Al tomar el tiempo y hacer el esfuerzo de inspeccionar de forma periódica, se crea la oportunidad de corregir problemas potenciales y salvaguardar una futura inversión.

De igual manera, la inspección es necesaria por la vida útil del sistema, es decir, es una clave importante para cumplir con la vida útil de construcción del sistema al contar con un programa planificado de control y mantenimiento preventivo.

1.3. Erosión en la Universidad de San Carlos de Guatemala

La quebrada El Frutal abarca desde el actual desfogue del colector R. M. R. de aguas residuales y pluviales. Dichas aguas fluyen al oeste de la ciudad universitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala hacia el río Villalobos, el cual desemboca en el lago de Amatitlán. Esta zona se inició a trabajar con fines ecológicos en 1998.

En los últimos años, el cauce ha aumentado considerablemente debido al crecimiento demográfico y al desarrollo industrial de las zonas 11 y 12. Esto ha provocado erosión en la quebrada El Frutal, lo que a su vez ha ocasionado la clausura del sendero ecológico Las Ardillas por parte de la CONRED debido al riesgo de deslizamientos.

En el 2001 se emitió el Acuerdo Gubernativo 179-2001, en el cual se aprobó la declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas de Amatitlán, Villalobos y Michatoya, de la CONRED. En consecuencia, en los sectores a una distancia de 100 metros horizontales a cada lado de cada río, zanjón y quebrada existente de las cuencas mencionadas, no podrá desarrollarse ni apoyarse ningún tipo de proyecto público ni privado hasta que la amenaza u ocurrencia del desastre haya desaparecido.

Derivado de dicho decreto, el CEDESXD emitió el acuerdo 001-2016 estableciendo el edificio de Editorial Universitaria, servicios sanitarios, bodega y vivero dle Departamento de Ambiente, bodega de mantenimiento de la Dirección de Servicios Generales, taller de herrería, carpintería, vestidores y vivero del Departamento de Urbanización y Construcción de la Dirección de Servicios Generales y el sendero ecológico Las Ardillas, como zona de alto riesgo e inhabitable. Considerando la distancia de 100 metros a partir del extremo superior del barranco.

Además, la erosión ha provocado que los habitantes de la colonia El Carmen, ubicados a 100 metros del río, abandonen sus viviendas (ver figura 1), al ser declaradas inhabitables por el riesgo que supone el terreno debido al socavamiento del barranco.

Figura 1. **Erosión ocasionada por el mal manejo de aguas combinadas**



Fuente: Prensa Libre. *Colector de Q20 millones evitaría colapsos de terreno y mejoraría conducción de aguas pluviales en la zona 12.* <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/colector-de-q20-millones-evitaria-colapsos-de-terreno-y-mejoraria-conduccion-de-aguas-pluviales-en-la-zona-12/>. Consulta: 9 de noviembre de 2020.

Con el fin de restaurar el sendero ecológico Las Ardillas, en el año 2019 la Universidad de San Carlos y la Municipalidad de Guatemala comenzaron la primera fase de la construcción del sistema de alcantarillado que consiste en 5 pozos de visita y un colector de 1 102 metros de largo.

De este modo se evitaría que la erosión siga afectando el terreno y se recuperará el área perdida del bosque. Dicho proyecto es el resultado de un

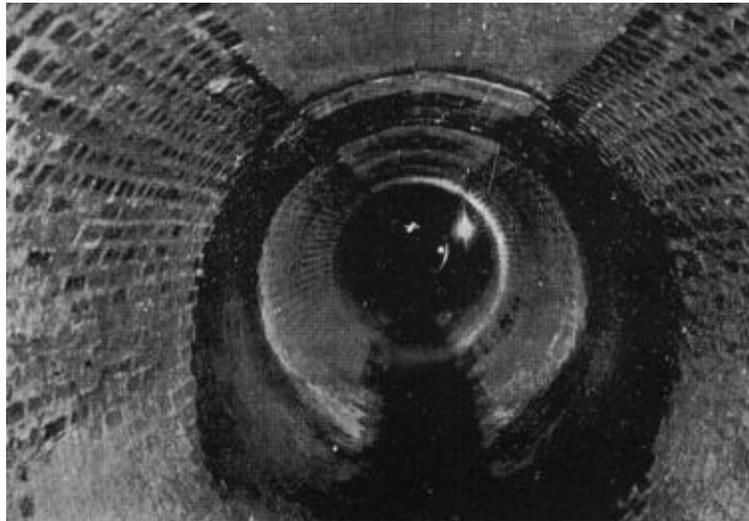
diseño que data del 2011, buscando generar condiciones de saneamiento ambiental en el sur de la ciudad.

1.4. Proceso constructivo de los primeros alcantarillados en la Ciudad de Guatemala

Al construir los primeros sistemas de alcantarillado, no existía un reglamento por parte de la municipalidad de Guatemala; sin embargo, siempre se ha diseñado para un periodo de 20 años, tomando en cuenta el uso residencial, comercial e industrial y el factor de infiltración.

Los materiales que se utilizaron en los primeros alcantarillados del país proceden del tiempo de la colonia, siglo XVI. Se utilizaron ladrillos tayuyo con revestimiento de mortero de cemento para crear conductos rectangulares y luego cambiaron a secciones circulares (ver figura 2). Todo el procedimiento era realizado manualmente. Se utilizaba el zanqueo en lugar de la excavación de túneles y se fundía únicamente la clave, es decir, la mitad superior del colector.

Figura 2. Interior de un colector antiguo



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. *Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 9 de la ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica.* p. 66.

Posteriormente los colectores se fundieron en su totalidad con concreto armado. El método de zanqueo se utilizaba por ser tramos iniciales que no eran muy profundos y tener un bajo flujo vehicular. Con el paso del tiempo y el incremento de la población, el requerimiento de diseño exigía que los colectores estuvieran a mayor profundidad y tuvieran mayor diámetro.

De este modo, y debido al incremento del flujo vehicular: “procedieron a realizar excavaciones de túneles revestidos con concreto reforzados. Para estas excavaciones utilizaban vigas de madera para verificar el diámetro y la

pendiente del túnel. Para la fundición de la clave se colocaba una formaleta de madera³. (Ver figuras 3 y 4).

Figura 3. **Excavación de un túnel para colector**



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. *Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica.* p. 67.

³ HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. *Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica.* Guatemala. 2008. p. 70.

Figura 4. **Colocación de formaleta de madera para fundición de colector**



Fuente: HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. *Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica.* p. 68.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de un sistema de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado: “Conjunto de conductos y estructuras destinados a recibir, evacuar, conducir y disponer las aguas servidas; fruto de las actividades humanas, o las que provienen como fruto de la precipitación pluvial”⁴. Las redes de alcantarillado pueden ser unitarias, si solo transportan un tipo de agua, o combinadas si transportan aguas residuales y pluviales colectivamente.

El sistema consiste en recolectar, transportar y purificar todas las aguas servidas; para ser trasladadas a un lugar de proceso de transformación por un tratamiento primario, estructurado de fosas sépticas y pozos de absorción para su retorno al ambiente. Es imprescindible considerar el reglamento del Instituto de Fomento Municipal, INFOM, así también las Normas generales para diseño de alcantarillado, porque contiene criterios técnicos de construcción e hidráulicos, en donde también regula las velocidades máximas y mínimas para el diseño.

Los términos alcantarillado y drenaje suelen utilizarse como sinónimos. Sin embargo, según la RAE, la palabra alcantarilla hace referencia a “un acueducto subterráneo fabricado para recoger las aguas de lluvia o residuales y darles paso”⁵.

⁴ PÉREZ CARMONA, Rafael. *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. p. 38.

⁵ Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. 22ª. Edición. 2004. p. 310.

Por otro lado, el drenaje se refiere a evacuar rápidamente las corrientes de agua, de este modo se puede diferenciar ambos términos en la magnitud de la obra, pues el drenaje es menos profundo y grande que un alcantarillado.

2.2. Componentes del sistema de alcantarillado

Los componentes de un sistema de alcantarillado pueden variar, según las necesidades del proyecto. Los más utilizados se describen en los siguientes incisos.

2.2.1. Pozos de visita/registro

Forman parte de las estructuras de conexión y mantenimiento, pues son estructuras que permiten la inspección, limpieza y ventilación del sistema de alcantarillado. Según el INFOM, los pozos de visita se construyen en los siguientes casos:

- En cambios de diámetro.
- En cambios de pendiente.
- En cambios de dirección horizontal para diámetros menores de 24”.
- En las intersecciones de tuberías colectoras.
- En los extremos superiores ramales iniciales.
- A distancias no mayores de 100 metros en línea recta en diámetros hasta de 24”.
- A distancias no mayores de 300 metros en diámetros superiores a 24”.

Los pozos de visita pueden ser prefabricados o contruidos en el sitio de la obra. Para la construcción de pozos prefabricados se utiliza polietileno, concreto poliéster reforzado con fibra de vidrio, concreto polimérico, entre otros.

Independientemente del material que se utilice, la estructura debe garantizar la hermeticidad. Estos se entregan en el lugar de la obra como una unidad completa o en secciones, pero deben quedar instalados como una sola unidad. Los pozos de visita constan de las siguientes partes.

2.2.1.1. Cono de ingreso

Los pozos de visita inician con un cono de reducción para ingresar y una tapa de hierro fundido o concreto de un diámetro mínimo de 0,60 metros. Este cono es soportado por las paredes que se ensanchan hasta un diámetro mínimo de 1,50 metros y continua con este diámetro hasta llegar al colector o a la red de alcantarillado.

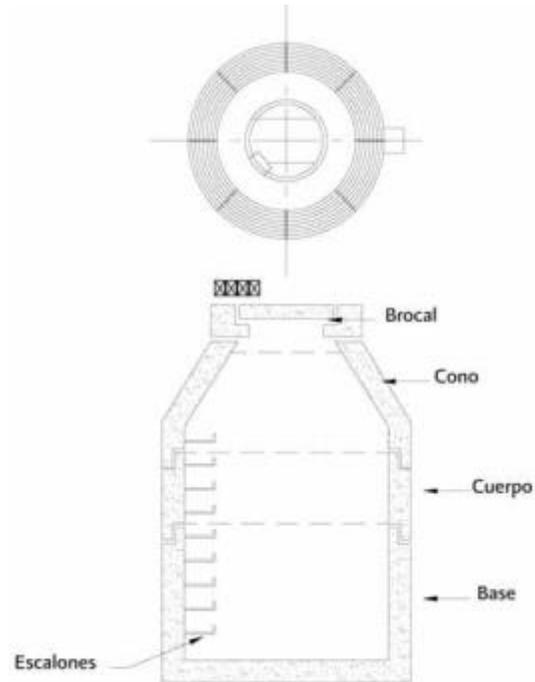
2.2.1.2. Cilindro

La profundidad de los pozos varía según el diseño del sistema de alcantarillado y suelen construirse de barro cocido cuando son pequeños y de concreto armado cuando son grandes. En la actualidad, también se utilizan pozos de visita de PVC.

2.2.1.3. Depósito

Se construyen en el fondo del pozo cuando estos tienen caídas. La altura mínima es de 0,30 metros, pero no siempre se conoce la altura, por lo que es recomendable acceder por un punto más seguro o utilizar equipo de seguridad apropiado.

Figura 5. Componentes de los pozos de visita



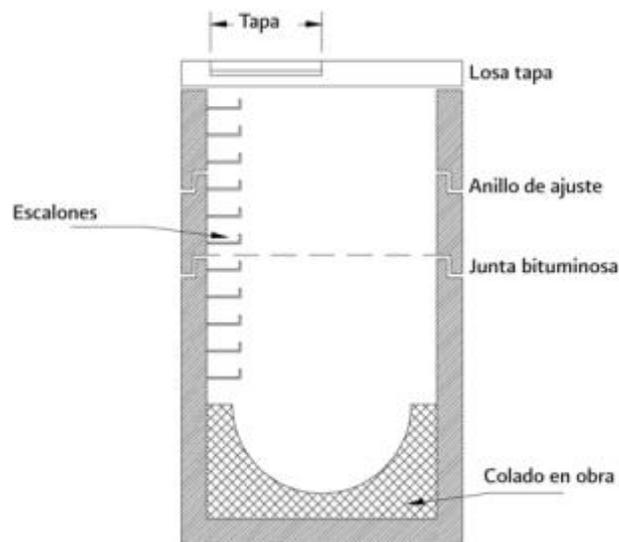
Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. p. 50.

Para los pozos de visita construidos *in situ*, generalmente se utilizan ladrillos, mampostería de piedra y concreto. Según el Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario, estos se clasifican de la siguiente manera:

- Pozos comunes: están formados por una chimenea cilíndrica en la parte inferior y troncocónica en la parte superior, utilizados hasta 0,800 m. Los pozos comunes deben asentarse sobre una capa de material base compactada a 95 % proctor con espesor mínimo de 10 cm. El acceso a la superficie se protege con una tapa de hierro fundido, concreto u otro material de acuerdo a la carga exterior, y debe contar con respiraderos.

Tiene un diámetro interior de 1,00 m se utilizan para unir tuberías de hasta 0,76 m de diámetro con uniones de hasta 0,45 m de diámetro y permiten una deflexión máxima en la tubería de 90°.

Figura 6. **Pozo de visita común**

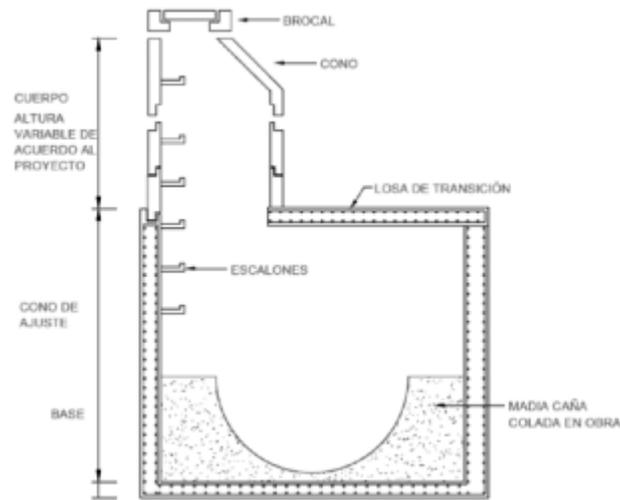


Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado Sanitario.* p. 55.

- Pozos especiales: similares a los pozos de visita comunes, con la diferencia de que la base es de diámetro mayor para albergar tuberías incidentes mayores a 0,76 m de diámetro, estos pozos se pueden reducir una vez pasando la parte superior de los tubos incidentes para terminar como los pozos comunes.
- Pozos caja: formados por el conjunto de una caja y una chimenea similar a la de los pozos comunes y especiales, termina con una tapadera en la superficie. Su sección transversal horizontal tiene forma rectangular o de un polígono regular. Estos pozos no permiten deflexiones en las tuberías,

por lo que se dan a 180°.

Figura 7. Pozo tipo caja



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. p. 56.

- Pozos tipo cajón de deflexión: son pozos caja de sección horizontal en forma de polígono irregular generalmente fundidos *in situ*, estos pozos permiten deflexiones en las tuberías.
- Pozo tangencial: están formados por un tubo tee tangencial de diámetro igual al diámetro principal de la línea de drenaje y para el diámetro de acceso son utilizadas tuberías de diámetro desde 90 cm hasta 305 cm.

2.2.2. Cajas de caída

Son estructuras similares a los pozos de registro, con la diferencia de no contar con acceso desde la superficie.

Se construyen para conectar ramales con los colectores principales o para bajar de nivel los colectores principales y así mejorar la disposición final de las aguas.

2.2.3. Cajas de inspección

Las cajas de inspección: “utilizadas para inspección y limpieza en el sistema de alcantarillado”⁶. Estas se construyen en sitios donde la profundidad del sistema y la limitación de espacio no permiten construir pozos de inspección.

2.2.4. Conexiones domiciliarias

Son instalaciones formadas por una acometida y una caja de registro llamada candela domiciliar, su función es transportar las aguas servidas y pluviales desde las viviendas hacia la red del sistema de alcantarillado municipal. De acuerdo con el INFOM, “el empotramiento y colector se hace en la parte superior a 45 en sentido del flujo, la acometida tiene una pendiente mínima del 2 % y no mayor al 6 %, diámetro mínimo de 8° para tubos de concreto”⁷.

⁶ INFOM. *Normas generales para el diseño de alcantarillados*. Guatemala. 2001. p. 10.

⁷ *Ibíd.* p. 12.

Figura 8. **Conexión domiciliar**



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. p. 49.

2.2.5. **Colectores**

Son los conductos de mayor tamaño en el sistema y representan la parte medular del alcantarillado. “Su función es reunir las aguas residuales, pluviales o ambas, que provienen de otros ramales y que los conducen a otros colectores o a su disposición final”⁸. La sección típica de los colectores es la circular debido a sus ventajas hidráulicas y facilidad de diseño; sin embargo, también existen las secciones rectangulares, de herradura y de semielíptica; generalmente son de PVC o de concreto armado.

El diseño de los colectores se encuentra normado de acuerdo con las secciones 202, 203 y 204 del *Reglamento para diseño y construcción de drenajes para la ciudad de Guatemala*.

⁸ CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño estructural*. Libro 6. México. 2019. p. 35.

Figura 9. **Colector**



Fuente: SÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspección de colectores, en la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. p. 9.

2.2.6. Obras hidráulicas complementarias

En referencia a las obras hidráulicas complementarias, es importante mencionar que, en el diseño de un relleno sanitario existen obras que complementan la función de las obras hidráulicas, es asegurar la correcta confinación y aislamiento de los componentes contaminantes. Mencionadas obras se describen en este apartado con la consideración apropiada del material que se utiliza en la construcción y diseño. De igual forma se describen los derivadores de caudal, los disipadores de energía, los sifones invertidos y las estructuras de bombeo.

Por lo tanto, las obras hidráulicas complementarias son partes indispensables, para el funcionamiento de un sistema de agua, sin intervenciones constantes por parte de una cuadrilla de fontanería.

2.2.6.1. Descarga

“Es el punto donde termina el cilindro del colector madre y las aguas residuales transportadas son desfogadas en el cuerpo receptor, procurando que sea un cuerpo de agua en movimiento”⁹. Este se ubica en la parte más baja del sistema, además, las aguas se pueden verter en ríos, lagos, el mar, pozos de absorción, a riego, entre otros. procurando que estas estructuras viertan las aguas a presión atmosférica y en casos muy específicos en forma sumergida.

Figura 10. **Descarga de aguas residuales**



Fuente: SÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspección de colectores, en la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. p. 12.

2.2.6.1.1. Cabezal

Su función es proteger el ambiente circundante de la degradación causada por la descarga abrupta de las aguas residuales y protege la descarga de posibles avenidas de agua provenientes del cuerpo receptor.

⁹ SIKA S. A. U. *Túneles y obras subterráneas*. p. 72.

Figura 11. **Cabezal para alcantarillado**



Fuente: SAÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspección de colectores, en la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. p. 12.

2.2.6.1.2. Zona de degradación

Esta zona es la que se encuentra inmediatamente después de la descarga de las aguas residuales, la cual aumenta sensiblemente la turbiedad de la corriente. Si en esta sección de la corriente el flujo es lento, tiene lugar la sedimentación de los sólidos suspendidos, creando un banco de lodo y erosión en los alrededores.

Figura 12. **Zona de degradación de descarga**



Fuente: SAÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspección de colectores, en la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. p. 13.

2.2.6.2. Derivadores de caudal

Los sistemas de alcantarillado combinado suelen contemplar estructuras para descargas periódicas con el fin de aliviar los colectores madre de los enormes caudales que resultan de las precipitaciones en época de lluvia. Los derivadores más utilizados son los derivadores de salto y los derivadores de rebalse.

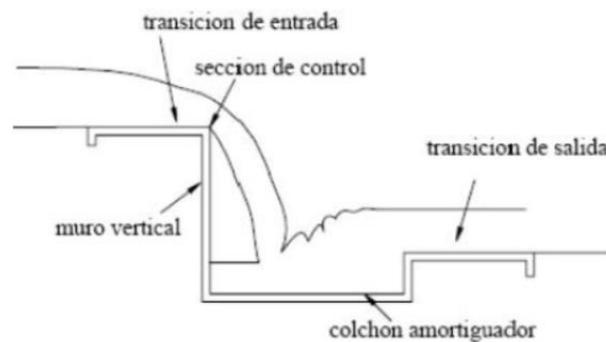
2.2.6.3. Disipadores de energía

“Estructuras hidráulicas utilizadas para disminuir exceso de energía cinética del flujo, expresada en altas velocidades, que al intentarse reducir producen grandes presiones y aparición de saltos hidráulicos e impactos del

agua sobre el material expuesto, logran prevenir erosión aguas abajo¹⁰. Estas altas velocidades se pueden dar en las tuberías con alta pendiente estructuras de caída, descargas de fondo, entre otros. Los disipadores pueden colocarse dentro del cilindro del colector o justo en la salida de este.

- Caída vertical: reducen la energía que causa la diferencia de niveles en la conducción de agua desde una elevación alta hacia una elevación baja. Este tipo de disipadores se recomienda para caídas de hasta 4,50 metros para evitar socavación.

Figura 13. **Disipador de caída vertical**



Fuente: OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas*. p. 32.

- Salto de esquí: consiste en un canal con una inclinación aproximada de 30° con la capacidad de captar el flujo de agua que tendrá una caída con curvatura cóncava, este reduce la erosión y la socavación, evitando daños en el cauce receptor.

¹⁰ AYALA, Luis; FRANCO, Alejandro; PADILLA, Edgar. *Evaluación de la eficiencia en dissipación de energía en estructuras hidráulicas construidas con gaviones y material reciclado*. p. 28.

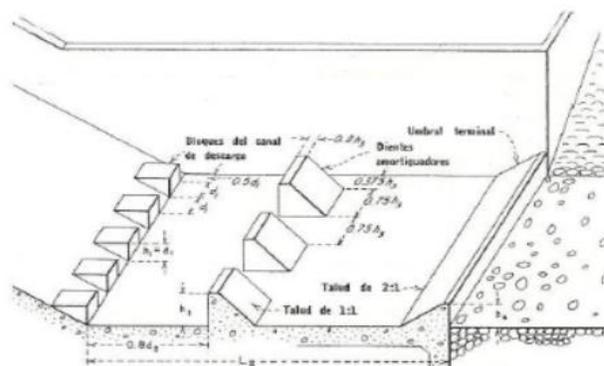
Figura 14. **Disipador salto de esquí**



Fuente: OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas.* p. 28.

- Tanques amortiguadores: consiste en un resalto hidráulico sumergido que forma un tanque de amortiguación de sección rectangular o trapezoidal. Usualmente se colocan dientes para mejorar la eficiencia en los tanques, estos son útiles para eliminar ondas en la superficie del agua.

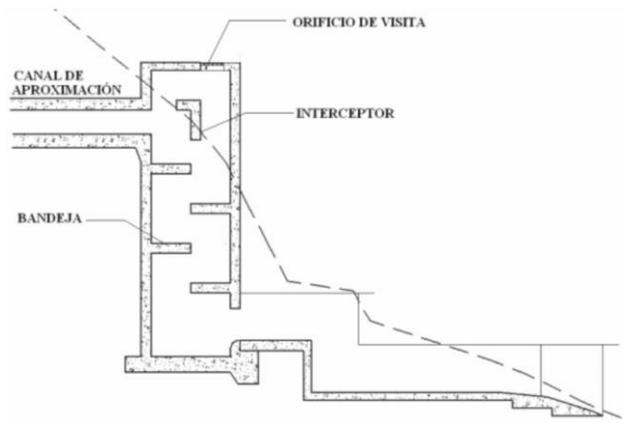
Figura 15. **Disipador de tanque amortiguador**



Fuente: OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas.* p. 35.

- Pozo de bandejas: recomendada para cambios de nivel y de dirección en colectores con alturas mayores a 2,00 metros. Está formado por una sección transversal en la entrada del pozo sin desarrollo longitudinal.

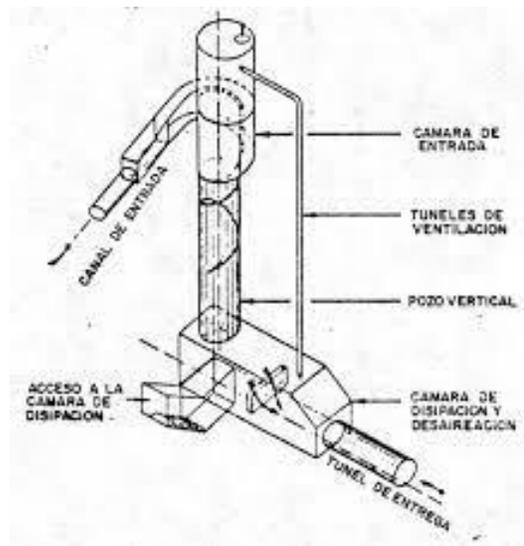
Figura 16. **Disipador de pozo de bandejas**



Fuente: OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas*. p. 41.

- Descargador a vórtice: se caracteriza por inducir un movimiento helicoidal en el ingreso a un pozo de caída vertical, descender hasta llegar a la cámara de disipación y continuar por el canal de entrega hacia el colector de salida del sistema.

Figura 17. **Disipador descargador a vórtice**



Fuente: OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas*. p. 45.

2.2.6.4. Sifones invertidos

Estas estructuras se utilizan “cuando se tienen cruces con alguna corriente de agua, depresión del terreno, estructura, tubería o viaductos subterráneos, que se encuentran al mismo nivel en que debe instalarse la tubería”¹¹. Consisten en una serie de conductos dispuestos en forma de U, interconectados por dos cámaras a los extremos. Los principales tipos de sifones son:

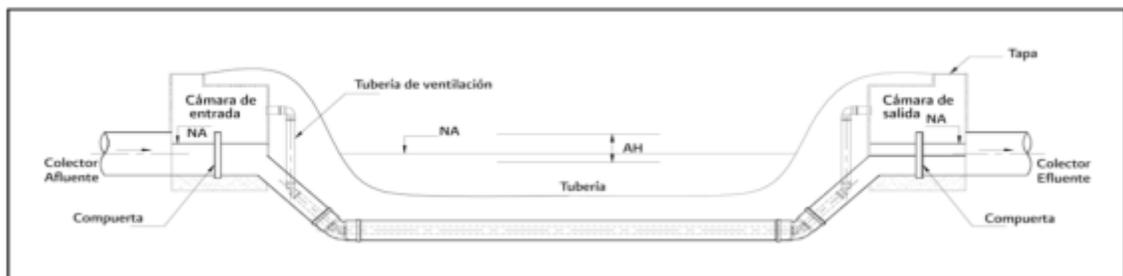
- Ramas oblicuas
- Pozo vertical

¹¹CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. México. 2009. p. 34.

- Ramas verticales
- Con cámara de limpieza

Los sifones de ramas oblicuas se utilizan en cruces de obstáculos, para ello se cuenta con suficiente desarrollo y en terrenos que no presentan grandes dificultades de ejecución.

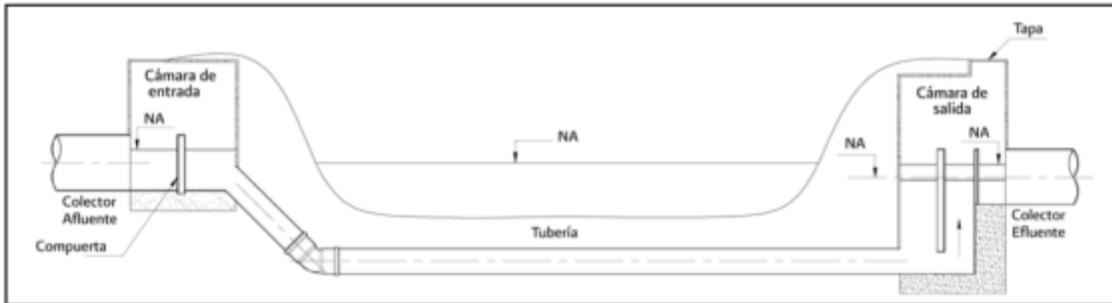
Figura 18. **Sifón de ramas oblicuas**



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. p. 58.

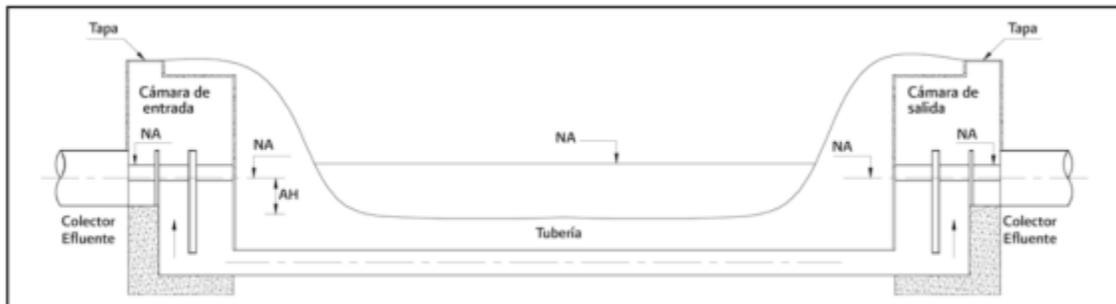
Por sus características de fácil limpieza y reducido espacio, son aconsejables los sifones de pozo vertical y ramas verticales. Son preferidos para emplazamientos de poco desarrollo o en grandes dificultades constructivas.

Figura 19. **Sifón con pozo vertical**



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario.* p. 59.

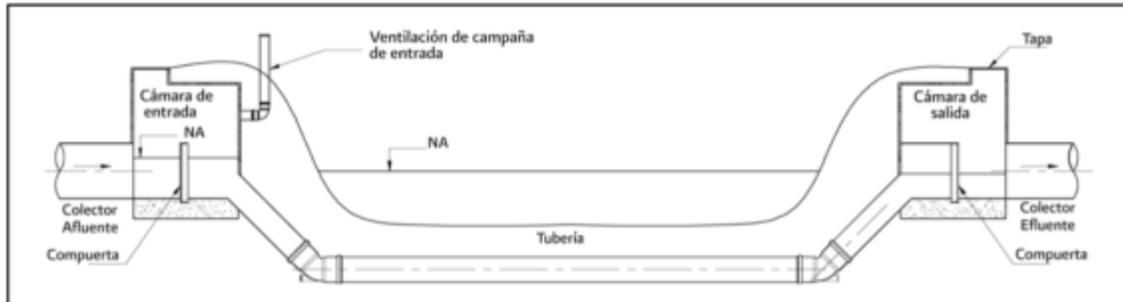
Figura 20. **Sifón con ramales verticales**



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario.* p. 59.

Los sifones con cámaras de limpieza tienen su aplicación en obras de cruce de vías subterráneas, tal y como se describe en la figura 23 del sifón con cámara de limpieza.

Figura 21. **Sifón con cámara de limpieza**



Fuente: CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario.* p. 59.

2.2.6.5. **Estructuras de bombeo**

Los componentes de bombeo son necesarios cuando la energía hidráulica es muy baja para movilizar las aguas por gravedad o se necesite transferir el volumen de agua de un punto a otro de mayor elevación.

2.3. **Diseño de alcantarillado**

El diseño de alcantarillado recolectará y transportará únicamente las aguas negras provenientes de las conexiones hacia el colector o alcantarillado principal. Es importante mencionar que estas se conducirán por gravedad a uno de los pozos de visita del alcantarillado existente, se realizará con base en las normas técnicas y ambientales. Sin embargo, es importante describir los dos diseños de alcantarillado: el hidráulico y estructural.

2.3.1. Diseño hidráulico

En el diseño hidráulico, se considera que todas las comunidades que quieran resguardar la salud de los integrantes deben poseer, por lo menos un saneamiento base, que incluya abastecimiento de agua, red de drenajes sanitario y pluvial, si lo hubiese, además de una adecuada disponibilidad de los desechos sólidos.

Por lo mismo, en el proceso de saneamiento es imprescindible disponer de agua potable de una forma continua, porque con esto se asegura la salud de la población y también, la reducción del riesgo de enfermedades endémicas y gastrointestinales.

Dentro de este marco, el agua potable, para que sea considerada como tal, debe ser sanitariamente segura, debe cumplir con la Norma COGUANOR NGO 29-001 del Acuerdo Gubernativo núm. 986-1999 en los límites máximos aceptables y permisibles; también debe estar exenta de microorganismos patógenos, es decir, condiciones bacteriológicas, en tal caso de no encontrarse en los parámetros existen procesos para considerarla sanitariamente segura.

El diseño hidráulico comprende la determinación de alineamiento vertical, alineamiento horizontal, tipo de sistema, periodo del diseño, caudal del diseño, secciones y pendientes, profundidad de las tuberías, entre otros aspectos para el óptimo funcionamiento del sistema.

2.3.1.1. Alineamiento vertical

Es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la tubería, las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo.

Dentro de estos tipos de curvas verticales, el diseñador tiene la opción de calcular las curvas como simétricas o asimétricas. Estas dependen del presupuesto del proyecto, características del terreno, estética y criterios de diseño que se estén tomando en cuenta.

2.3.1.2. Alineamiento horizontal

Es la proyección sobre un plano horizontal del eje central de la tubería, está constituido por una serie de líneas rectas definidas por la línea preliminar, enlazados por curvas circulares o curvas de grado de curvatura variable de modo que permitan una transición suave y segura al pasar de tramos rectos a tramos curvos o viceversa. Es importante mencionar que, las rectas se caracterizan por su longitud y dirección y las curvas por su curvatura y longitud.

2.3.1.3. Tipo de sistema

Independientemente del sistema a utilizar, este se diseña por gravedad con los conductos funcionando parcialmente llenos. A continuación, se describen los diversos sistemas de alcantarillado tanto pluvial, residual y el sistema combinado.

2.3.1.3.1. Agua pluvial

Previo a describir el sistema de alcantarillado de agua pluvial, es importante mencionar que el agua pluvial que precipita en la región donde se construye el relleno sanitario, cuando se convierte en escorrentía superficial, puede dañar los taludes por la erosión y corrimientos de residuos depositados. De igual manera, el escurrimiento superficial, o el agua pluvial, se infiltra por la superficie del relleno, produciendo los lixiviados, efectivamente esto puede

solucionarse con la construcción de canales de desvío con una ubicación correcta a la topografía donde se origina el escurrimiento. El sistema de alcantarillado de agua pluvial es de conducto independiente que recolecta y conduce únicamente las aguas de escorrentía superficial debida a las lluvias, que fluyen a través de las calles, techos y cualquier superficie. Estas aguas son recolectadas, generalmente mediante tragantes.

2.3.1.3.2. Agua residual

El sistema de alcantarillado de agua residual se conoce como sistema sanitario, es un sistema de conducto independiente que recolecta y conduce únicamente aguas residuales domésticas, comerciales e industriales y las provenientes de edificios estatales. Este sistema suele utilizarse en poblaciones que no han contado con un sistema anterior al que se está diseñando.

2.3.1.3.3. Sistema combinado

El sistema de alcantarillado combinado es en el que se recolectan y conducen aguas tanto de aguas pluviales como de aguas residuales por una misma tubería. Este sistema suele utilizarse en poblaciones o edificaciones que tengan una única salida para las aguas pluviales y sanitarias.

2.3.1.4. Período de diseño

Según el Instituto de Fomento Municipal, “los sistemas de alcantarillado son diseñados para cumplir adecuadamente con su función durante un periodo de entre 30 y 40 años a partir de la fecha en que se desarrolla el diseño”¹².

Asimismo, este comprende el periodo de funcionamiento eficiente del sistema. Pasado este período es imprescindible rehabilitarlo, para seleccionar el período de diseño de una red de alcantarillado, se debe tomar en cuenta factores como la vida útil de las estructuras y del equipo componente, considerando la antigüedad, el desgaste y el daño; así como la facilidad para hacer ampliaciones a las obras planeadas, y la relación anticipada de crecimiento de la población, incluyendo en lo posible el desarrollo urbanístico, comercial o industrial de las áreas adyacentes.

2.3.1.5. Caudal de diseño

En el diseño de alcantarillado el caudal de diseño es determinado, por la población tributaria que, es calculada según el número de habitantes al final del periodo de diseño. El caudal medio diario se calcula con una contribución mínima de 120 lt/hab/día, tomando en cuenta la población de diseño. En cada caso se hacen consideraciones con el objetivo de identificar, si es necesario, la adopción de un caudal mayor, por existir industrias o centros turísticos, entre otros.

¹² INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL INFOM. *Normas generales para diseño de alcantarillados*, Guatemala, 2001. p. 19.

Cada tramo de un sistema combinado se diseña con la suma del caudal doméstico, el caudal de infiltración, el caudal por aguas de lluvia y un caudal ilegal.

2.3.1.5.1. Caudal doméstico

Corresponde, al agua que una vez ha sido utilizada por los humanos, para limpieza o producción de alimentos, es desechada y conducida hacia la red de alcantarillado, en otras palabras, que el agua de desecho doméstico se relaciona con la dotación del suministro del agua potable, menos una porción que no será vertida al drenaje de aguas negras, como los jardines y lavado de vehículos. Por lo mismo, el caudal máximo doméstico se encuentra relacionado directamente con el factor de retorno lo cual puede variar entre 75 al 90 %.

Para determinar el caudal doméstico se toma en cuenta la densidad poblacional y el caudal por habitante, según la zona y los parámetros que se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Parámetros para la determinación del caudal doméstico**

Tipo de zona	Caudal (lts/hab/día)	Densidad (hab/ha)
Barrios pobres	115 a 153	330 a 470
Barrios no residenciales de clase media	170	75 a 220
Barrios residenciales de clase alta	265	15 a 75

Fuente: EMPAGUA. *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala*. p. 193.

El factor de flujo entre el flujo promedio y el flujo de diseño se toma de la tabla II. Cuando el flujo de diseño es inferior a 1,5 lts/s se utiliza este valor.

Tabla II. **Parámetros para la determinación del factor de flujo instantáneo**

Flujo promedio		Factor de flujo instantáneo	Flujo de diseño lts/seg.
m ³ / día	lts/seg.		
menos de 1000	menos de 12	4.00	
1,000	12	3.90	47
2,000	23	3.80	88
3,000	35	3.60	126
4,000	46	3.50	161
5,000	58	3.40	197
6,000	69	3.35	232
7,000	81	3.30	268
8,000	93	3.20	298
9,000	104	3.10	323
10,000	116	3.08	357
11,000	127	3.03	385
12,000	139	3.00	417
15,000	174	2.80	487
18,000	208	2.70	562
20,000	231	2.65	612
25,000	289	2.50	723
30,000	347	2.35	816
35,000	405	2.30	932
40,000	463	2.20	1019
45,000	521	2.15	1121
50,000	571	2.10	1216
60,000	694	2.05	1423
70,000	810	2.00	1620
o más	o más	2.00	

Fuente: ÁLVAREZ, Otto. Actualización de normas y reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala. p. 40.

Al caudal de diseño obtenido se le agrega un caudal de 0,1 lts/seg/ha para considerar las posibles infiltraciones en el sistema y 100 lts/hab/día por las posibles conexiones ilícitas.

En zonas de apartamentos se considera un caudal de diseño de 265 lts/hab/día, estudiando cada caso especial según la densidad de población.

2.3.1.5.2. Caudal pluvial

La determinación de este caudal se efectúa por el método racional.

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

Q = caudal (m³/s)

C = relación entre la escorrentía y cantidad de lluvia caída en el área

I = intensidad de lluvia (mm/h)

A = área a drenar en hectáreas (1 hectárea = 10 000 m²)

La intensidad de lluvia se determina, según las fórmulas para la Ciudad de Guatemala especificadas en el *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes de EMPAGUA*.

Zona Atlántica, tubería menor de 1,50 m de diámetro

$$I = \frac{4604,6}{t + 24,2}$$

Zona Atlántica, tubería mayor de 1,50 m de diámetro

$$I = \frac{4203,6}{t + 23,2}$$

Zona Pacífica, tubería menor de 1,50 m de diámetro

$$I = \frac{6889,1}{t + 39,5}$$

Zona Pacífica, tubería mayor de 1,50 m de diámetro

$$I = \frac{5915,7}{t + 35,8}$$

En donde t es el tiempo de concentración en minutos, determinado con la siguiente fórmula:

$$t_2 = t_1 + \frac{L}{60 v_1}$$

Donde:

t_1 = tiempo de concentración en el tramo anterior (minutos)

L = longitud del tramo anterior (metros)

v_1 = velocidad a sección llena en el tramo anterior (m/s)

En tramos concurrentes t_1 se toma igual al del tramo de mayor tiempo de concentración. En tramos iniciales se determina, según la tabla III.

Tabla III. **Tiempo de entrada en tramos iniciales**

TIEMPOS DE ENTRADA EN MINUTOS									
1 <	20	19	18	17	16	15	14	13	12
1%	19	18	17	16	15	14	13	12	11
2%	18	17	16	15	14	13	12	11	10
3%	17	16	15	14	13	12	11	10	9
4%	16	15	14	13	12	11	10	9	8
5%	15	14	13	12	11	10	9	8	7
6%	14.5	13.5	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5
7%	14	13	12	11	10	9	8	7	6
8%	13.5	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5
9%	13	12	11	10	9	8	7	6	5
10%	12.5	11.5	10.5	9.5	8.5	7.5	6.5	5.5	4.5
10 >	12	11	10	9	8	7	6	5	4
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%

Fuente: ÁLVAREZ, Otto. *Actualización de normas y reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala*. p. 24.

La escorrentía se determina de acuerdo con las curvas de escorrentía, considerando un porcentaje de impermeabilidad (ver tabla IV), según la siguiente fórmula.

$$C = \frac{\sum ca}{\sum a}$$

Donde:

$\sum ca$ = suma de los productos de las áreas parciales multiplicado por su correspondiente valor de impermeabilidad relativa.

$\sum a$ = suma de las áreas parciales.

Tabla IV. Impermeabilidad relativa

TIPO DE SUPERFICIE	FACTOR "C"
Superficies impermeables de techos	0.75 a 0.95
Pavimentos de asfalto en buen estado	0.85 a 0.90
Pavimentos de concreto en buen estado	0.70 a 0.90
Pavimentos de piedra o ladrillo con buenas juntas	0.75 a 0.85
Pavimentos de piedra o ladrillo con juntas permeables	0.40 a 0.70
Calles macadamizadas	0.25 a 0.60
Parques, canchas, jardines, prados, etc.	0.05 a 0.25
Suelos impermeables con pendientes del 1% al 2%	0.40 a 0.65
Suelos impermeables con césped y pendientes del 1% al 2%	0.30 a 0.55
Suelos ligeramente permeables con pendientes del 1% al 2%	0.15 a 0.40
Suelos ligeramente permeables con césped y pendientes del 1% al 2%	0.10 a 0.30
Suelos moderadamente permeables con pendientes del 1% al 2%	0.05 a 0.20
Suelos moderadamente permeables con césped y pendientes del 1% al 2%	0.01 a 0.10
Bosques y tierras cultivadas	0.01 a 0.20

Fuente: ÁLVAREZ, Otto. *Actualización de normas y reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala*. p. 25.

2.3.1.6. Secciones y pendientes

En general se utilizan secciones circulares funcionando a sección parcialmente llena. La capacidad, velocidad, diámetro y pendiente se calculará con las fórmulas de Manning:

$$Q = V * A$$

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

Donde:

Q = gasto (m³/s)

A = area de la sección de la corriente (m²)

V = velocidad del flujo (m/s)

R = radio hidráulico (m)

S = pendiente del gradiente hidráulico (m/m)

n = coeficiente de rugosidad de Manning, según el tipo de tubería

De acuerdo con el *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala*, la tubería debe tener una pendiente mínima del 2 % y la velocidad máxima del caudal de diseño será de 3,00 m/s y la velocidad mínima será de 0,75 m/s. Sin embargo, en colectores madre de concreto podrán usarse mayores velocidades, según los requisitos que se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Velocidad máxima en tuberías de concreto**

Resistencia del concreto a los 28 días	Velocidad máxima permitida
140 kg/cm ² (2000 PSI)	3,00 m/s
210 kg/cm ² (3000 PSI)	5,00 m/s
250 kg/cm ² (3600 PSI)	6,00 m/s
280 kg/cm ² (4000 PSI)	6,50 m/s
315 kg/cm ² (4500 PSI)	7,50 m/s

Fuente: EMPAGUA. *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes de la municipalidad de Guatemala*. p. 192.

2.3.1.7. Profundidad de colectores

La profundidad mínima de la corona de la tubería respecto a la superficie es de 1 metro. En caso de utilizar una profundidad mayor a 3 metros se debe diseñar una tubería auxiliar sobre esta para las conexiones domiciliarias. En profundidades mayores de 10 metros no es necesario localizar los colectores

alineados con las calles, siempre y cuando no perjudique la seguridad de la propiedad privada.

2.3.2. Diseño estructural

El diseño para tuberías enterradas debe permitir movimientos de expansión y contracción por medio de juntas para evitar fallas ocasionadas por los movimientos vibratorios del suelo debidos a sismos. Las cargas que se deben considerar en el diseño estructural son las siguientes:

- Carga muerta por el peso del relleno
- Carga viva por tránsito de vehículos en la superficie
- Carga viva por tránsito de maquinaria y equipo pesado
- Carga sísmica

Para definir la cantidad de acero de refuerzo y el recubrimiento de concreto a utilizar en colectores y pozos se utiliza el ACI, por sus siglas en inglés, American Concrete Institute. Dicha organización desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas referentes al concreto reforzado tomando como base las cargas y momentos aplicados a la estructura. Los esfuerzos que soportará la estructura se pueden definir según los estudios geotécnicos.

2.4. Estudios para la construcción de alcantarillados

Para construir un proyecto de alcantarillado, deben hacerse estudios preliminares con personal calificado, el cual es responsable de la exactitud de los datos recolectados.

Esto no exime la responsabilidad del ingeniero encargado de la elaboración del proyecto de supervisar la forma en que se realizan los trabajos de cada etapa para que la información sea recolectada correctamente.

Cada estudio realizado debe presentar un informe con el resumen del propósito, los resultados, las observaciones y recomendaciones de ser necesarias. En el presente apartado se describen los elementos necesarios para la elaboración de los estudios para la construcción de alcantarillados.

2.4.1. Topografía

“Se conoce como topografía a la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra con sus formas y detalles”¹³. En otras palabras, un estudio topográfico es el conjunto de actividades de campo y gabinete con el fin de proporcionar información altimétrica o planimétrica para representarla en planos. Al realizar un estudio topográfico se realiza lo siguiente:

- Levantamiento topográfico: describir un terreno utilizando equipo de primer orden como distanciómetro, estación total y nivel electrónico.
- Replanteo: plasmar en el terreno detalles representados en planos, es importante previo a realizar una obra.
- Planimetría: representación horizontal a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana.
- Altimetría: representación de la altura de cada punto respecto a un plano de referencia para representar relieves del terreno.

¹³ CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: alcantarillado sanitario*. p. 17.

- Fotogrametría: técnica de medición de coordenadas en tres dimensiones utilizando fotografías junto con puntos de referencia topográfica sobre el terreno.

2.4.2. Geología del terreno

Lo primero a realizarse en un estudio geológico es examinar el mapa geológico con la asistencia de un especialista. Este estudio brinda información sobre el trazo proyectado y sus alternativas, conocimientos sobre la naturaleza del terreno, identidad de las capas, estratificación e irregularidades del subsuelo.

También aporta datos sobre zonas con accidentes geológicos como lo son las fallas que corresponden a rocas quebrantadas o fisuras. Este estudio ayuda a evitar el trazo entre avenidas de agua subterránea y entre terrenos movedizos.

2.4.3. Sondeos

Todo proyecto subterráneo necesita de sondeos para precisar la naturaleza de los lechos subterráneos, su estado físico, su consistencia y su contenido de humedad. El objetivo principal de un sondeo geotécnico es establecer la columna litológica del punto de investigación.

Adicionalmente se realizan ensayos *in situ* para determinar ciertas características mecánicas asociadas a cada litología. El tipo de sondeo depende del fin con el que se realiza, por lo que las herramientas y maquinaria a utilizar varían para cada caso.

2.4.3.1. Sondeos a percusión

Corresponde a una máquina con un armazón y un mástil, generalmente asentada sobre un remolque o camión; consta de un motor que transmite su fuerza motriz a una rueda excéntrica, convirtiendo el movimiento giratorio en vertical que lo transfiere a lo que se denomina el balancín. De igual manera, a este último elemento va sujeto el cable que sustenta la columna de perforación o sarta, apoyado a su vez en el mástil, es decir, 10 a 15 metros de altura, provisto de un elemento de amortiguación.

Para estos se transmite la energía necesaria a la herramienta mediante un golpe en cabeza, provocando el corte del terreno en la dirección de la perforación.

2.4.3.2. Sondeos a rotación

En referencia a los sondeos a rotación, corresponde a un caso particular de los métodos de perforación a rotación, que logra eliminar en su mayor parte el efecto de colmatación de las paredes del sondeo que se produce por la circulación directa. Al mismo tiempo, en la perforación a rotación por circulación, los lodos, seguidamente de sufrir una decantación en la balsa, descienden por gravedad, por medio del espacio anular, hasta el fondo del sondeo, para regresar a la superficie cargados de detritus por el interior del varillaje.

Cabe agregar que, este sistema requiere de la ayuda de una bomba de aspiración, es decir, el efecto Venturi, que suele estar combinada por inyección de aire comprimido a través de ranuras auxiliares del varillaje, con lo que se consigue una menor densidad en el tramo ascendente del fluido y por tanto una mayor velocidad de ascensión.

Con ello se logra disminuir la presión en la perforación y como resultado el efecto de invasión del lodo en las formaciones permeables.

La herramienta ejecuta la perforación mediante el corte del terreno a cizalla, mediante un giro en dirección perpendicular al avance, rotando alrededor del eje de la dirección de la perforación.

2.4.3.3. Sondeo eléctrico vertical

Consiste en un arreglo geométrico que permite obtener un perfil de profundidad versus resistividad aparente, interpretable en términos de una distribución de estratos bajo el centro del SEV. El trabajo de campo consiste en generar corrientes eléctricas de tal modo que estas logren transmitirse por los distintos estratos que componen estratos con propiedades eléctricas distintas.

Como primer paso se escoge la ubicación de los sitios donde se instalará el centro tendido de los electrodos, es decir, el SEV. Los tendidos poseen extensiones variables, hasta 250 metros de longitud entre los extremos de electrodos de corriente. La fuente de energía que se utiliza para la emisión de corriente se obtiene de baterías alcalinas variando entre 45 y 270 voltios. El voltaje aplicado depende principalmente de la respuesta del subsuelo en el transcurso de la prospección y del objetivo del estudio.

El objetivo principal es obtener el perfil eléctrico bajo el sitio central del SEV, el cual se grafica en una gráfica doble-logarítmica de resistividad aparente contra separación AB media.

- La primera fase de la interpretación consiste en revisar la calidad de los datos obtenidos en campo y repetir las lecturas que no son satisfactorias.

- La segunda fase consiste en analizar e integrar en gabinete toda la información recabada en campo utilizando un análisis de cómputo que produce las secciones o perfiles geoeléctricos con la configuración de los distintos estratos de subsuelo.

2.4.4. Ensayo de penetración estándar

La perforación SPT, por sus siglas en inglés (Standard Penetration Test), es un sondeo dinámico utilizado para medir la capacidad de resistencia del suelo, en donde este se opone a la penetración. Este ensayo permite identificar rellenos o condiciones geológicas especiales, detectar la profundidad de nivel freático y otras variables para diseñar una cimentación segura. Sin embargo, se utiliza como respaldo de los resultados de un estudio de suelos.

Según la Norma ASTM D-1586, el procedimiento consiste en perforar y avanzar a golpes imprimiendo a unas barras una cantidad normada de energía por medio de un martillo de peso conocido que se levanta y deja caer desde una altura predeterminada sobre un yunque conectado a las barras. Las barras guían a una punta muestradora la cual es hueca y bipartida, de este modo recolecta muestras de suelo a medida que penetra.

Durante el proceso las barras y puntas se introducen y se extraen para agregar más barras que funcionan como extensiones repitiendo la cantidad de veces que sean necesarias hasta llegar a la profundidad objetivo. Además, se lleva un registro de la cantidad de golpes que se necesita para avanzar una determinada distancia vertical.

2.5. Métodos de construcción de alcantarillados

Es imprescindible establecer los métodos de construcción de alcantarillados por las condiciones cambiantes del subsuelo. A continuación, se describen los métodos de excavación y sus diversas características, seguidamente se mencionan las particularidades de los métodos de fundición y por último las características de los tubos prefabricados.

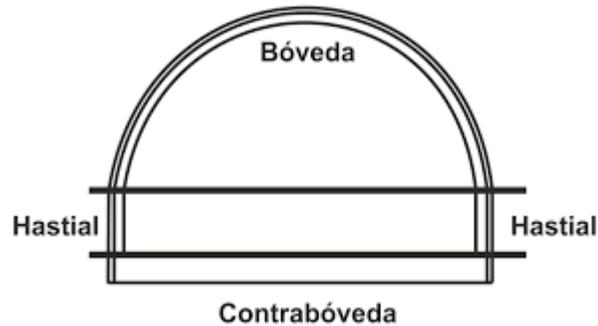
2.5.1. Métodos de excavación

Una excavación es cualquier corte, cavidad, zanja, trinchera o depresión hecha por el hombre en la superficie del suelo mediante la remoción de la tierra. Las excavaciones de pozos son ejecutadas verticalmente, pueden ser de sección circular o cuadrada y por lo general son de gran profundidad. En este caso la excavación generalmente es de forma manual, mientras que en los túneles de colector la excavación puede ser manual o mecanizada.

2.5.1.1. Excavación de túneles

El primer trabajo que se realiza en la excavación de un túnel es el techo o clave. Luego la destroza, que es el espacio comprendido desde el techo hasta el suelo, y finalmente las paredes o hastiales del túnel, tal y como se muestra en la figura 24.

Figura 22. **Elementos de un túnel**



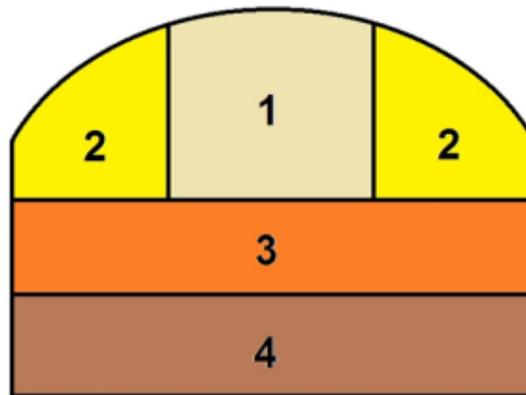
Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>. Consulta: 9 de septiembre de 2021.

Para asegurar la estabilidad permanente del túnel y según el tipo de terreno, existen diferentes métodos de excavación, estos son: el inglés, el belga, el alemán y el austriaco.

- Método inglés

Se aplica en terrenos con arenas y areniscas, su característica principal es proceder el avance de la perforación a sección completa del túnel en una sola operación. La excavación inicia en la bóveda y desciende hasta llegar a la contrabóveda.

Figura 23. **Método inglés**



Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>. Consulta: 9 de septiembre de 2021.

- **Método belga**

Su seguridad radica en que se trabaja con una sección de excavación muy pequeña. Inicia con el uso de herramienta manual excavando la parte media de la bóveda y esta se va ensanchando y apuntalando con madera y acero hasta lograr la sección de diseño. Este método se aplica en terrenos blandos y en general para todo tipo de terreno debido a que la sección pequeña de excavación reduce la probabilidad de algún hundimiento o deslizamiento.

Una vez terminada la bóveda, se coloca concreto estructural de sostenimiento para estabilizar el túnel y se procede con la excavación de la destroza y los hastiales hasta llegar a la contrabóveda.

Figura 24. **Método belga**



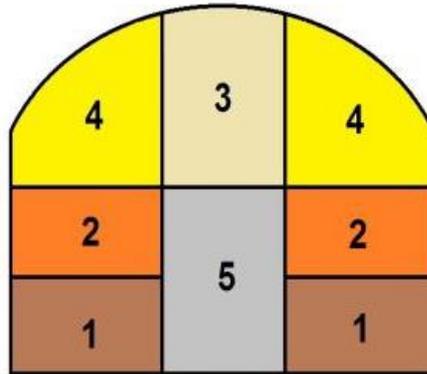
Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>. Consulta: 9 de septiembre de 2021.

- **Método alemán**

Es un método seguro para túneles de sección superior a 8 metros cuadrados en terrenos blandos. Inicia con la excavación de los hastiales, divididos en dos niveles. Primero se realiza el nivel inferior y se coloca concreto dejando armadura libre para continuar, luego se repite el proceso con la mitad del nivel superior. Simultáneamente a la fundición de los hastiales, se excava la parte intermedia de la bóveda.

Una vez culminados estos trabajos se empieza la excavación de las partes externas que formarán la bóveda del túnel y se funde con concreto estructural. Este proceso se repite hasta alcanzar la longitud del túnel. Fraguado el concreto, se excava toda la sección y se elabora la contra bóveda.

Figura 25. **Método alemán**



Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>. Consulta: 9 de septiembre de 2021.

- **Método austriaco**

Este método se basa en la utilización de puntales de madera para formar un sistema de entibado, excavando en el orden que se describe en la siguiente figura. Es importante mencionar que, no es apropiado para terrenos blandos debido a su amplia sección, produciendo alta probabilidad de deslizamiento o desplome de la excavación. Según la excavación avanza, se proyecta concreto en las paredes del túnel y se realiza el revestimiento definitivo, según el diseño.

Figura 26. **Método austriaco**



Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>. Consulta: 9 de septiembre de 2021.

2.5.1.1.1. Excavación manual

La excavación manual es la que efectúan los operarios utilizando su fuerza física ayudados por herramientas de mano como palas, picas, taladros, piochas, entre otros. En las excavaciones manuales, se realiza hasta alcanzar el caño y una vez detectado el sector donde el revestimiento se encuentra deteriorado, se procede al retiro del revestimiento mediante herramientas manuales. Seguidamente se procede al arenado del caño y colocación de revestimiento nuevo y finalmente se procede al tapado y recomposición del terreno.

2.5.1.1.2. Excavación mecánica

Se realiza con equipo pesado o máquinas excavadoras. Debe tomarse en cuenta que, durante la excavación, la tierra extraída aumenta su volumen entre un 20 a un 40 %, según la naturaleza del terreno. El fin esencial de las excavaciones mecánicas corresponde a, prevenir los riesgos que implica en las

excavaciones manuales y señalización de los mismos para que el maquinista de las retroexcavadoras, excavadora de cadena y treincor, además sepa constantemente donde están las interferencias en el terreno para así prevenir roturas de caños.

2.5.1.1.3. Perforación y voladura

Este método es utilizado en terrenos donde predomina la roca firme. Consiste en abrir pequeños agujeros cilíndricos en las rocas para introducir los explosivos y sus accesorios. En este mismo sentido es importante mencionar que, la perforación de una excavación desconocida, que se pueda encontrar al excavar, puede ocasionar un accidente típico, originado por el hecho de que existan emanaciones de gases tóxicos, principalmente CO y al descender los trabajadores sin las debidas protecciones, se intoxiquen.

2.5.2. Métodos de fundición

Los métodos de fundición corresponden al proceso de revestimiento, centrado en el concreto proyectado, encofrado con anillos y dovelas, los cuales se describen detalladamente en este apartado.

2.5.2.1. Revestimiento

“El revestimiento de túneles es el recubrimiento de concreto simple o armado colado en el sitio mediante cimbras”¹⁴. Con el fin de proteger las superficies de la cavidad contra la erosión e intemperismo y proveer soporte adicional a la excavación.

¹⁴ Norma N CTR CAR 1 05 008/00. *Revestimiento de túneles*. p. 16.

2.5.2.1.1. Concreto proyectado

Más conocido como shotcrete, el concreto proyectado está reemplazando los métodos tradicionales de revestimiento de túneles y es importante en la estabilización de estos. Las principales ventajas de esta mezcla son su trabajabilidad y su durabilidad. Actualmente existen dos procesos de proyectado de concreto: proyectado en seco y proyectado húmedo.

Luego de su producción, el concreto se transporta al equipo de proceso por métodos convencionales. En el lugar donde se usará se utilizan tubos o mangueras sellas resistentes al exceso de presión. El concreto proyectado se aplica rociándolo a alta presión sobre la superficie lo cual lo compacta, formando una estructura de concreto plenamente compactado.

Entre las ventajas que presenta el concreto proyectado están:

- Aplicación a cualquier altura.
- Aplicación sobre estratos desiguales.
- Buena adherencia con el sustrato.
- Configuración totalmente flexible del espesor de la capa en el lugar de aplicación.
- Trabajo sin encofrado.
- Concreto proyectado reforzado (con malla o fibra).
- Obtención rápida de una capa con capacidad de carga.
- Sin largos tiempos de espera.

2.5.2.1.2. Encofrado con anillos

Cuando las especificaciones en cuanto la uniformidad del acabado del concreto son estrictas, se emplea un revestimiento de concreto estructural con encofrado de anillos interiores. Los acabados interiores trabajados con encofrado también son considerados superiores. Este trabajo exige moldes masivos y tecnología mecanizada para suministrar y compactar el concreto y movilizar los encofrados.

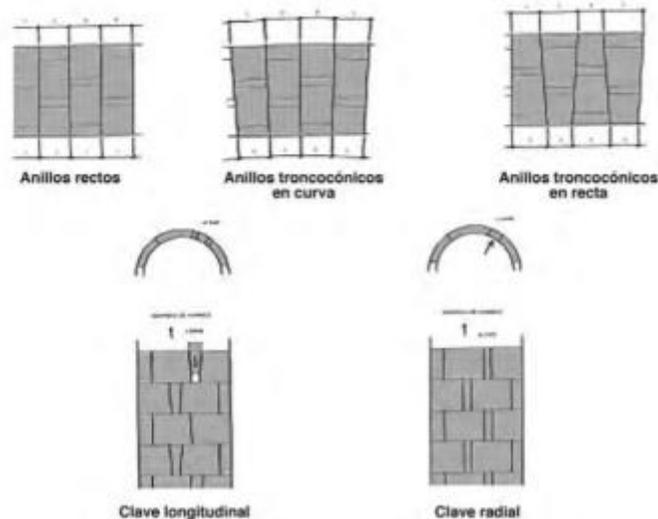
Para este método es indispensable el uso de vibradores debido a que el acceso es generalmente difícil. Una opción para evitar la compactación mecánica es el uso de concreto autocompactante, el cual permite llenar los encofrados por completo.

2.5.2.1.3. Dovelas prefabricadas

El uso de dovelas prefabricadas unidas a escudos es cada vez más aplicado para túneles largos de saneamiento. Un revestimiento prefabricado está compuesto por una serie de anillos yuxtapuestos formados por un número variable de dovelas.

Existen dos tipos de anillos: los rectos, para tramos rectos, y los troncocónicos, para describir curvas. Los anillos están constituidos por dovelas y el número de dovelas a usar se define por el diámetro del túnel. Para trabar los anillos se utiliza una dovela de clave que puede ser longitudinal, con forma de trapecio cilíndrico, o radial, limitada por planos convergentes en el extradós del anillo.

Figura 27. **Tipos de anillos y dovelas en revestimiento de túneles**



Fuente: SIKA. *Túneles y obras subterráneas*. p. 110.

Por ser elementos esbeltos sometidos a esfuerzos de manipulación y a las cargas del terreno cuentan con una cuantía de armadura. También cuentan con elementos de fijación para la impermeabilización. Estos elementos pueden ser juntas de bandas o tiras de impermeabilización, inyección del espacio que queda entre dovelas, una vez colocadas o revestimiento secundario interior de concreto.

2.5.3. **Tubos prefabricados**

Si las condiciones lo permiten, una forma de ahorrar tiempo es el uso de tubería prefabricada. Los tubos de concreto presentan varias ventajas frente a otros materiales: su capacidad portante es superior, es estructuralmente estable, son menos afectadas por la abrasión, térmicamente estables, seguras y ambientalmente sostenibles.

En Guatemala, para la fabricación de tubos de concreto no reforzado se debe cumplir las especificaciones de la Norma COGUANOR NTG 41072, tubos de concreto no reforzado para conducción de aguas servidas, desechos industriales y aguas pluviales o de escorrentía y para tubos de concreto reforzado se aplica la Norma COGUANOR NTG 41077, tubos de concreto reforzado para conducción de aguas servidas, desechos industriales y aguas pluviales o de escorrentía. Además, se debe considerar las especificaciones de la Norma COGUANOR NTG 41076, juntas flexibles para tubos de concreto y pozos de visita usando empaques de hule.

2.6. Supervisión en alcantarillados

Un supervisor es una persona con logística, capacidad técnica y conocimientos teóricos y prácticos suficientes para examinar una actividad que se ejecute dentro de un proyecto de obra civil y dar el visto bueno si considera que esta se ha ejecutado correctamente, previendo que se cumpla con la optimización del costo, tiempo y calidad.

2.6.1. Pozos de visita y de registro

En los pozos de visita y de registro, es necesario que los supervisores asignados, sean conscientes y consideren los siguientes factores en referencia a la supervisión de alcantarillados.

- La ubicación de estos sobre la línea de la tubería conforme planos de planta y perfil.
- Todas sus medidas de acuerdo con los planos y detalles de estos como diámetros de entrada y el fondo, cotas del fondo, tapadera, entrada y salida de tubería, medidas de espesor de tapadera, profundidad del pozo.

- El espesor de la losa del fondo y los detalles de los canales de desviación y encause del efluente.
- El recubrimiento de alisado de cemento en el fondo y la parte baja de las paredes interiores.
- Cumplimiento de los escalones de hierro para el descenso, de acuerdo con el diámetro y forma especificados.
- Características y armadura de tapadera de acuerdo con los planos y detalles.

2.6.2. Colectores

Para la supervisión de ramales secundarios, principales y colectores se debe verificar lo siguiente:

- Cumplimiento de los tramos de drenaje con lo indicado en los planos en cuanto a ubicación, dirección, sentido de la pendiente y el flujo, magnitud del diámetro y la pendiente de acuerdo con los planos y especificaciones.
- Que el ancho y la profundidad de la zanja en los diferentes puntos del tramo coincidan con las medidas indicadas en los planos.
- Que la rasante del fondo de la zanja corresponda al suelo natural, totalmente compactado y con la pendiente especificada para colocar la tubería correspondiente.
- Que la tubería sea de características de buena calidad, forma regular, medidas precisas, apariencia uniforme y sin defectos de fundición, resistente, compacto e impermeable.
- Colocación de la tubería totalmente a eje, es decir, en línea recta en todas direcciones, y los cambios de dirección en planta o elevación deben ser a través de un pozo de visita.
- Que las juntas en su interior queden completamente libres de excedentes

de material que obstruyan el paso de los efluentes.

- Que los anillos de sabieta alrededor de cada junta de la tubería estén bien conformados y sin grietas.

2.6.3. Descargas

La supervisión de alcantarillados engloba el seguimiento del proceso de descargas, por lo tanto, es importante que los asignados consideren verificar lo siguiente:

- Ubicación precisa de los puntos de descarga de acuerdo con los planos de planta general y hojas de planta y perfil.
- Comprobación de dimensiones en planta y elevación de acuerdo con los planos y detalles constructivos de los puntos de descarga.
- Atender todo lo considerado para obras de concreto reforzado o de mampostería, según sea el caso.
- Comprobación del buen anclaje de los puntos de descarga para evitar problemas de asentamientos o deslances que afecten la estructura.

2.7. Seguridad ocupacional en la construcción de alcantarillados

Dependiendo de cada caso, se debe establecer e implementar las medidas de protección que garanticen la prevención de accidentes. El personal debe utilizar elementos de protección personal de manera adecuada: casco, guantes resistentes a corte y abrasión, botas con punta de seguridad, gafas de seguridad, protección respiratoria, entre otros.

2.7.1. Operación en excavación convencional

Parte de la seguridad en la construcción de alcantarillados, corresponde el cumplimiento de responsabilidad en la operación de excavación convencional, esta corresponde a que entre los trabajadores exista una distancia segura, En los siguientes casos se debe suspender la excavación y abandonar la zona:

- Lluvias que amenacen la estabilidad de la excavación.
- Movimientos telúricos.
- Caída de equipo pesado dentro de la excavación.
- Pasó de equipo o vehículo pesado que por vibración comprometa la estabilidad de la excavación.
- Al presentarse algún hundimiento, descenso o asiento, o grietas antes de comenzar o durante la excavación. La situación debe ser reportada inmediatamente y evaluada por una persona calificada.
- Cuando la atmósfera se vuelva peligrosa por deficiencia de oxígeno o contaminación por gases tóxicos o combustibles
- En caso de desprendimientos, grietas y caída de rocas que evidencien la posibilidad de un derrumbamiento.

2.7.2. Operación en excavación mecanizada

La maquinaria y equipo deben ser operados por personas idóneas y los equipos deben estar en buenas condiciones operacionales, que no ofrezcan riesgos al operador, instalaciones, empleados ni al público. Se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Está prohibido que permanezcan personas dentro de la excavación durante la operación de la maquinaria o en el área de operación de esta.

- Si la excavación es lo suficientemente grande como para operar el equipo en un área y el personal trabajar en otra área sin riesgo, se trabajará, pero demarcando el área alrededor del radio de giro y área de control más grande.
- El cargue mecánico de material extraído debe ser supervisado por una persona idónea.
- Todos los equipos y maquinaria deben ser inspeccionados antes de su ingreso y periódicamente durante la obra.
- Si dentro del área de trabajo hay redes eléctricas energizadas, trabajar a una distancia menor que la distancia segura establecida en el *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas*.

3. CONSTRUCCIÓN DEL ALCANTARILLADO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

3.1. Diseño del alcantarillado USAC

Los parámetros de diseño considerados se muestran en la tabla VI.

Tabla VI. **Parámetros de diseño para el alcantarillado de la USAC**

Área a drenar	90 Ha. Aprox.
Conducto	En Túnel (Sección Circular)
Velocidad máxima	5.0 m/seg.
Velocidad mínima	0.5 m/seg.
Material a usar	Concreto reforzado
Intensidad de lluvia	I (cuenca pacífica) $I = 5915.7/t + 35.8$ mm/hora.
Formula a usar	$Q = C I A / 360$ m ³ /seg
Tiempo de concentración	15 min.

Fuente: EMPAGUA. *Cálculo y diseño estructural de los proyectos firmados, sellados y timbrados por profesional responsable de su realización.* p. 28.

El área se calculó sobre planos que contienen la red superficial del sector aledaño a la obra. Para el coeficiente de escorrentía se estimó un valor de 80 % considerando áreas residenciales con jardín y calles pavimentadas en un futuro.

$$I = \frac{5915,7}{15 + 35,8}$$
$$I = 116,45 \text{ mm/h}$$

El caudal por conducir en la estructura circular de 2,75 metros de diámetro es:

$$Q = \frac{0.80 * 113,45 * 90}{360}$$
$$Q = 23,29 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se estimó una pendiente de 0,5 % de la cual se obtiene la siguiente capacidad hidráulica:

$$Q = 25,16 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$V = 4,2 \text{ m/s}$$

Para el diámetro de 3,00 metros con una pendiente de 0,5 % se puede conducir el siguiente caudal:

$$Q = 31,00 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$V = 4,3 \text{ m/s}$$

3.2. Estudios preliminares

Habiendo dado inicio el proyecto, se llevó a cabo una visita técnica al fondo de la quebrada y por el bosque con los especialistas en geología y geotecnia, el superintendente del proyecto y el supervisor de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el fin de realizar un reconocimiento geológico en la zona del proyecto. Además, se inició con la limpieza y chapeo en el área del proyecto.

3.2.1. Estudio geológico-geofísico

Este estudio se llevó a cabo con el fin de determinar la secuencia litológica y los espesores de los distintos estratos que la conforman, determinar la presencia de posibles capas saturadas de agua y su profundidad, y determinar la ocurrencia de discontinuidades como fallas o fracturas.

3.2.1.1. Reconocimiento geológico

La primera etapa consistió en la compilación y análisis de la información existente respecto a la conformación de la geología del área y un reconocimiento de campo para confirmar dicha información.

3.2.1.2. Estructura regional

Mediante la observación del mapa geológico de la República de Guatemala, el mapa de fallas de la Ciudad de Guatemala y fotografías aéreas se determinó que el Valle de la Ermita es un valle tectónico de una profundidad aproximada de 500 m. Tiene un origen tectónico limitado al este por el sistema de fallas de Mixco y al oeste por el sistema de fallas de Santa Catarina Pinula

cubriendo una faja de 3 a 5 km de ancho. El análisis del mapa de fallas de la Ciudad de Guatemala y de fotografías aéreas comprobó que ningún sistema asociado representa una amenaza directa para el área del proyecto.

3.2.1.3. Estratigrafía

La depresión del Valle de la Ermita se encuentra rellena por materiales volcánicos, principalmente productos piroclásticos de grano muy fino (tobas) y carácter químico ácido (pumicítico). La secuencia típica reconocida en la quebrada El Frutal fue la siguiente:

- Suelo: la superficie del terreno está formada por una capa de suelo orgánico de color negro, localmente trabajado por excavaciones de drenaje, de aproximadamente 3 metros de espesor.
- Flujo H: corresponde al flujo piroclástico producto de la actividad de la caldera de Atitlán. Es de un color característico rosado con intercalaciones café amarillento o rosado blanquecino, datado de hace 84 000 años. Tiene un espesor de 10 metros.
- Caída H: son depósitos de caída de tefra (pómez) bien clasificada de color blanco con fragmentos de tamaño arena media en la base y gruesa en el techo originada por la misma fuente del flujo H. Tiene un espesor menor a los 30 centímetros.
- Caída y flujo T: son caídas de tefra y flujos piroclásticos de color blanco con el mismo origen que la anterior. Tiene un espesor menor a 30 metros y su edad está fechada en aproximadamente 240 000 años.

3.2.2. Topografía

Seguido de realizar los estudios geológicos y geotécnicos se llevó a cabo la generación de la topografía por medio de vuelos con dron y ortofotos. Además, se utilizó la estación total a lo largo de todo el proceso de excavación del túnel y de los pozos para mantener el correcto alineamiento y pendiente de la obra.

3.2.3. Prospección geofísica

Para el estudio realizado se utilizó la secuencia de arreglos AB-MN, la cual obedece a una secuencia espaciada regularmente en la escala logarítmica para su posterior interpretación.

Tabla VII. **Secuencia de arreglos de electrodos utilizados en el estudio SEV**

N	AB/2	MN
1	3	2
2	4	2
3	5	2
4	7	2
5	10	2
6	10	5
7	15	5
8	20	5
9	25	5
10	30	5
11	40	5
12	50	5
13	50	20
14	70	20
15	90	20
16	100	20
17	120	20
18	150	20
19	150	40
20	175	40

Continuación de la tabla VII.

20	175	40
21	200	40
22	225	40
23	250	40

Fuente: Grupo PHI S. A. *Estudio geológico-geofísico*. p. 14.

Con la información obtenida y registrada en la tabla VII, se procedió a interpretar el comportamiento del subsuelo en presencia de corrientes eléctricas. En este estudio, la interpretación se realizó utilizando el programa IPI2Win, desarrollado por la Universidad de Moscú.

Se realizó una serie de 10 sondeos a lo largo del trazo superficial del túnel proyectado siendo las coordenadas de ubicación las siguientes:

Tabla VIII. **Coordenadas de ubicación de los sondeos**

SEV	ESTE	NORTE
USAC-01	763549	1614137
USAC-02	763579	1614058
USAC-03	763495	1613978
USAC-04	763483	1613972
USAC-05	763525	1613843
USAC-06	763359	1613782
USAC-07	763295	1613718
USAC-08	763168	1613640
USAC-09	763119	1613565
USAC-10	763596	1614171

Fuente: Grupo PHI S. A. *Estudio geológico-geofísico*. p. 16

El equipo utilizado fue el siguiente:

- Equipo de sondeos eléctricos verticales marca ABEM, Terrameter SAS 1 000, de fabricación sueca.
- Fuente de poder externa de 12V.
- Cables para la conducción de la energía eléctrica proveniente de la fuente de poder con una extensión máxima de 1000 m por ala.
- Electrodo de corriente (AB).
- Electrodo de potencia (MN).

Los modelos resultantes proyectaron, en la mayoría de los sondeos, cuatro estratos bien diferenciados. Esta secuencia es continua a lo largo del perfil de sondeos a excepción de los sondeos USAC-07 y USAC-09. En orden descendente, la secuencia inicia con la cobertura de suelo y material intemperizado, la cual es la más uniforme en su espesor. Debajo del suelo superficial se detectó el Flujo H (piroclásticos de Los Chocoyos) el cual también es de espesor constante. Este estrato se ve ausente en los sondeos USAC-07 y USAC-09.

En el tercer estrato se encontró una unidad de tefras conocidos como caída y flujo T con un espesor entre 35 y 42 metros, exceptuando el sondeo USAC-01 que cuenta con un espesor de 28 metros. La base de los sondeos la constituye la unidad conocida como caída y flujo T con un espesor entre 50 y 75 metros (ver anexo 1).

En cuanto a las fallas, los sondeos coinciden con el reconocimiento geológico pues el trazo del túnel corre de forma paralela a las discontinuidades mayores reconocidas, no atravesando fallas o fracturas.

3.2.4. Ensayo de penetración estándar

Este ensayo se realizó con el fin de analizar el relleno adecuado para soportar la estructura del tubo que uniría el colector existente con el colector a construir en el área denominada interconexión. Se realizaron 4 perforaciones en el sitio hasta alcanzar los 6 metros de profundidad o encontrar rechazo y se tomó una muestra inalterada del talud.

El ensayo se realizó con un martillo de 140 libras a una caída de 30 pulgadas aumentando el número de golpes necesarios para la penetración de cada 6 pulgadas (ver apéndice 4). Con la muestra tomada se realizaron los ensayos de laboratorio de límites de Atterberg, granulometría y gravedad específica.

El sitio de la interconexión fue ubicado dentro de la tipología D de la Norma AGIES NSE 2018 aplicando los parámetros correspondientes (ver anexo 2).

Según los resultados de laboratorio obtenidos del SPT se identificaron dos diferentes estratos (ver anexo 3). De estos se detectó presencia de nivel freático en el sondeo realizado en el lecho del río. Además, se concluyó que el área no es vulnerable a que ocurra el fenómeno de licuefacción, pues no se encontró arenas totalmente puras.

Finalmente, se concretó que el relleno para la tubería de conexión debía ser de un ancho mínimo de 4 metros y una profundidad de 2,40 metros, tomando en cuenta que se debía sanear el suelo del espacio donde caía el agua del colector existente.

3.3. Trabajos preliminares

Una vez iniciado el tiempo de ejecución del proyecto se procedió a realizar la respectiva limpieza, chapeo y destronque en las áreas de excavación de los pozos, seguido del trazo para iniciar la excavación del túnel y de los pozos de visita y de construcción.

3.4. Excavación

Como se mencionó en la sección 2.5.1., la excavación se puede realizar de forma manual o mecanizada. En este proyecto, debido a las características del suelo, la excavación se llevó a cabo de forma manual en su totalidad (ver apéndices 2 y 3).

3.4.1. Excavación de pozos de visita

La excavación de los pozos de visita se hizo de forma manual utilizando picos, palas y barrenos. Además, se utilizó *winches* para mecanizar la extracción del material de excavación en los pozos.

Primero se excavó un cilindro con diámetro de 2,30 metros, según la profundidad de cada pozo. Para los pozos denominados PV1A y PV2 se amplió a un diámetro de 4,40 metros para alcanzar el diámetro del cilindro grande en la parte inferior del pozo y para los pozos denominados PV3, PV4 y PV5 se amplió a un diámetro de 4,75 metros. Conforme se fue armando y fundiendo los pozos, de manera ascendente, se fue tallando los conos restantes para así obtener el diseño solicitado por parte de la Municipalidad de Guatemala (ver plano núm. 5).

3.4.2. Excavación de pozos de construcción

Los pozos de construcción fueron ubicados sobre la línea central del colector de acuerdo con los planos (ver plano num. 1). En total se realizaron 5 pozos de construcción a lo largo del trazo. La sección de los pozos de construcción empleada fue circular con un diámetro de 1,80 metros y profundidad variada según la topografía del terreno.

Luego de terminada la construcción del tramo del túnel y con autorización del supervisor se procedió a rellenar los pozos de construcción. Esto se llevó a cabo desde la parte más profunda hasta la superficie con el mismo material extraído durante la excavación. El relleno de los pozos se efectuó por capas de 0,40 metros de espesor, compactado de forma manual.

3.4.3. Excavación del túnel para colector

Al igual que la excavación de los pozos de visita y los pozos de construcción, la excavación para el colector se realizó de forma manual. El colector consta de dos secciones, los primeros 280 metros de longitud tienen una sección circular de 3,25 metros de diámetro y los siguientes 746 metros de longitud son de 3,60 metros de diámetro.

3.4.3.1. Procedimiento

Esta excavación se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa consistió en la excavación de una brecha y la segunda etapa consistió en la excavación de la sección completa. Se inició por la ampliación de la mitad superior de la sección para facilitar el tallado final de esta y así evitar el uso de andamios. Para mantener el correcto alineamiento y nivel del túnel se colocaron

escantillones. La ampliación se realizó aproximadamente hasta 5 centímetros antes de llegar al límite de la sección con el fin de que el tallado culminara la ampliación, sin producir sobre excavación.

Para obtener un acabado correcto de la excavación del túnel, se extrajeron las rocas presentes para no tener protuberancias que redujeran el volumen de concreto a utilizar en el recubrimiento del túnel. Del mismo modo, los terrones sueltos y rocas inestables que presentaban algún riesgo de caer fueron removidos.

3.4.3.2. Precauciones especiales

En las áreas donde el suelo era inestable, susceptible a derrumbes, se realizó entibación con madera y puntales (ver figura 30) a modo de proteger a los excavadores. Asimismo, se procedió a ampliar estas áreas por pequeñas secciones llevando una secuencia de ampliación, armado y fundición para evitar grandes derrumbes y salvaguardar la vida de los trabajadores.

Figura 28. **Entibado en zona de derrumbes**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

(Ver más fotos en el apéndice 5)

3.4.3.3. Iluminación

Para mantener iluminado dentro del túnel se instaló un contador en la superficie del terreno (ver figura 31), de los cuales se condujo energía eléctrica hacia el interior de los pozos y del túnel por medio de extensiones y bombillas (ver figura 32).

Figura 29. **Contador en la superficie**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

Figura 30. **Iluminación dentro del túnel**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.4.3.4. Ventilación

Dado que durante la excavación de algunos pozos y algunos tramos de túnel se presentaron gases dentro de los mismos, se colocaron ventiladores y extractores de aire unidos a bolsas plásticas cilíndricas para oxigenar el área.

3.5. Estudios realizados durante la excavación

En el transcurso de la excavación se presentaron algunos imprevistos que demandaron realizar inspecciones geotécnicas para prevenir incidentes y accidentes.

3.5.1. Inspección de pozos de visita

Durante la excavación de uno del pozo de visita PV4, a una profundidad de 23,50 metros y con un diámetro de 2 metros, hubo desprendimiento de materiales en dos sectores dentro del pozo. Con el objeto de identificar las causas del desprendimiento, evaluar el riesgo y determinar las acciones a tomar al respecto, se llevó a cabo una inspección.

La inspección consistió en corroborar la estratigrafía, presencia de fracturas y zonas de estabilidad. En la estratigrafía se observó que los materiales atravesados por el pozo coinciden con la secuencia detectada en el estudio geofísico (sondeo USAC-03). La secuencia inicia con aproximadamente 3 metros de espesor de materia orgánica. Luego se encuentra un estrato conformado por secuencias de flujos piroclásticos, especialmente pómez, tamaño arena gruesa, bien estratificados con colores café claro, blanco y rosado.

Este fue identificado como flujo H y tiene un espesor de aproximadamente 8 metros. Debajo de estos estratos se encuentra una gruesa secuencia de tefra color blanco grisáceo, con capas de fragmentos líticos tamaño arena 2 a 64 milímetros y abundantes fragmentos de pómez muy blanca de hasta 10 centímetros. Esta capa, definida como caída H, presenta muy poca consolidación y por lo tanto es muy disgregable.

Únicamente se encontraron dos fracturas, localizadas en la parte superior de la secuencia en el lado sureste del pozo. Estas están rellenas y no muestran continuidad a profundidad ni correspondiente en el lado opuesto del pozo.

Se observaron dos zonas de inestabilidad, ambas localizadas en la unidad denominada caída H. La primera zona se manifiesta como un desgajamiento vertical del material en una dirección, localizadas en el lado sureste del pozo. La inestabilidad no se manifiesta como fracturas sino como desprendimientos en forma de lajas. Además, no tienen continuidad lateral ni en el lado opuesto del pozo.

Por lo tanto, se define que la inestabilidad es generada por un proceso de descompresión del material. Esto sucede en materiales sueltos cuando los materiales excavados son liberados de la presión litostática por el espacio abierto del pozo.

La segunda sección de inestabilidad se observó casi en el fondo del pozo. Esta se manifestó como desprendimiento vertical, donde se observó una cicatriz de algún fluido a su paso.

Se definió que la sección completa de caída H es propensa a desprendimientos de materiales, por lo que representa un alto riesgo para la

estabilidad del pozo y la seguridad de los trabajadores. Para solventar esta situación, se procedió a fundir inmediatamente este tramo del pozo y una vez asegurada la zona se continuó de manera normal con la excavación.

En pozo de visita PV5, también se hizo un estudio de inspección. Durante la excavación del pozo, a una profundidad de 36 metros, se observaron dos cavidades circulares de diámetro pequeño. A dicha profundidad, los materiales atravesados corresponden a depósitos de tefra, productos piroclásticos de eventos de flujos y caídas compuestos mayormente de pómez.

En la inspección no se encontraron discontinuidades en las paredes ni desprendimientos o zonas inestables. Las dos cavidades observadas tenían un diámetro de aproximadamente 10 centímetros con una continuidad casi vertical.

A pesar de que el proceso de formación de las cavidades era incierto, se concluyó que fragmentos ausentes conducían hacia una cavidad inferior de mayores dimensiones. Sin embargo, el perfil de sondeos realizado no manifestó la presencia de cavidad alguna en la profundidad inspeccionada, por lo que se recomendó la suspensión temporal de excavación del pozo y la realización de un sondeo eléctrico vertical en las cercanías del pozo.

3.5.2. Inspección del túnel para colector

Debido al desprendimiento de materiales en la clave del túnel durante la excavación, se efectuó una supervisión y evaluación del tramo. El material de dicho tramo son depósitos no consolidados de pómez y líticos en una matriz de pómez de caída libre, color blanco a crema, con fragmentos de pómez y líticos en una matriz de pómez de tamaño ceniza a arena fina.

Se observaron 3 fracturas en la clave del túnel las cuales formaban una cuña. Los impactos que producen las actividades de excavación causaron los desprendimientos. Además, por ser material arenoso ocurrió una descompresión que provocó derrumbes.

Por lo tanto, se sugirió utilizar técnicas de sostenimiento temporal como la colocación de bulones o lanzamiento de concreto hidráulico. Como opción más inmediata y económica, la colocación de cuadros de madera, que fue lo que se realizó.

3.6. Armado

Las barras de acero utilizadas para la armadura de refuerzo fueron de grado 60, con una resistencia de 60 000 libras sobre pulgada cuadrada y corrugadas, según las normas ASTM A615 y ASTM A616, respectivamente. Las barras fueron sujetadas entre sí con alambre de amarre calibre número 16 y se utilizaron tacos realizados *in situ* para mantener el correcto espesor en cada área.

3.6.1. Armado del colector

El armado del túnel consta de dos secciones: una sección de 2,75 m de diámetro, denominada sección pequeña, y una sección de 3,00 m de diámetro, denominada sección grande. Utilizando varillas núm. 3 (ver apéndice 1), se realizaron pines de aproximadamente 30 centímetros para marcar el espesor de fundición. Estos se pintaron con pintura anticorrosiva en el extremo insertado en el suelo para evitar la corrosión en los mismos y en el resto de la armadura.

3.6.1.1. Sección de 2,75 m de diámetro

El refuerzo longitudinal está constituido por 36 varillas núm. 4 con una longitud efectiva de 5,60 metros por varilla, contando con un empalme de 40 centímetros colocado de forma alterna. El empalme considera, según el ACI, el diámetro de la varilla, su límite de fluencia y la resistencia del concreto. El espaciamiento entre cada varilla o refuerzo longitudinal es de 30 centímetros. El refuerzo transversal está formado por 1,73 varillas de media pulgada para formar el aro de 10,00 metros de perímetro. Cada aro o refuerzo transversal se colocó con un espaciamiento de 20 centímetros entre cada uno. El aro cuenta con cuatro quiebres, según el diseño planteado por EMPAGUA, los cuales cumplen con la función de cambiar el esfuerzo de compresión a tensión (ver plano núm. 9).

Para el armado del piso se inició colocando los pines anclados al suelo. Luego se colocó el refuerzo transversal, es decir los aros, colocando media sección del aro y posteriormente se colocó el refuerzo longitudinal (ver figura 33). El armado de la clave se realizó del mismo modo, colocando primero los pines, luego los aros del refuerzo transversal y finalmente se amarraron las varillas longitudinales (ver figura 34).

Figura 31. **Armado del piso del colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.6.1.2. Sección de 3,00 m de diámetro

El refuerzo longitudinal está constituido por 44 varillas núm. 4 con una longitud efectiva de 5,60 metros por varilla, contando con un empalme de 40 centímetros colocado de forma alterna. Cada varilla o refuerzo longitudinal se colocó con un espaciamiento de 26 centímetros entre cada uno. El refuerzo transversal está formado por 2 varillas núm. 4 para formar el aro de 11,20 metros de perímetro. El espaciamiento entre cada aro o refuerzo transversal es de 20 centímetros. El aro cuenta con cuatro quiebres (ver plano núm. 9).

Figura 32. **Armado de la clave del colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

(Ver más fotos en el apéndice 7)

3.6.2. Armado de pozos de visita

El armado de los pozos de visita se divide en diferentes secciones debido a la forma geométrica de estos. Están conformados por cilindros y conos los cuales se explican a continuación.

3.6.2.1. Cimiento

El cimiento de los pozos de visita está formado por una cuadrícula de 20 centímetros, con varillas núm. 5, sobre esta cama se colocaron tres anillos

de media pulgada, con un espaciamento de 20 centímetros entre cada aro como se muestra en la figura 35 (ver plano núm. 6).

Figura 33. **Armado del cimiento del PV3**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.6.2.2. Cilindro

Los 5 pozos de visita están conformados por 3 cilindros de diferentes secciones. Para el cilindro inferior de los pozos de visita PV1A y PV2 se realizó un armado de refuerzo transversal con varillas núm. 4 con un espaciamento de 25 centímetros. El armado de refuerzo longitudinal se hizo utilizando varillas núm. 3 con un espaciamento de 25 centímetros.

El cilindro inferior de los pozos de visita PV3, PV4 y PV5 el armado de refuerzo transversal se realizó con varillas núm. 4 con un espaciamiento de 20 centímetros. Para el armado de refuerzo longitudinal también se utilizaron varillas núm. 4, pero con un espaciamiento de 35 centímetros (ver plano núm. 6).

El armado del refuerzo transversal del cilindro intermedio de todos los pozos de visita, PV1A, PV2, PV3, PV4 y PV5, está constituido por varillas núm. 4. Y el armado del refuerzo longitudinal por varillas núm. 3, ambos con un espaciamiento de 25 centímetros.

El armado transversal y longitudinal del cilindro superior de todos los pozos de visita, PV1A, PV2, PV3, PV4 y PV5, se realizó con varillas núm. 3. Se utilizó un espaciamiento de 20 centímetros para el refuerzo transversal y un espaciamiento de 30 centímetros entre las varillas del refuerzo longitudinal.

3.6.2.3. Cono

El refuerzo transversal del cono inferior de los pozos PV1A y PV2 fue armado con varillas núm. 4, con un espaciamiento de 25 centímetros. Para el refuerzo longitudinal se utilizó varillas núm. 3 con un espaciamiento de 25 centímetros.

En el pozo PV3 se utilizó varillas núm. 4 con espaciamiento de 25 centímetros para el refuerzo transversal y varillas núm. 3 con el mismo espaciamiento para el refuerzo longitudinal.

Para los pozos PV4 y PV5 se realizó el armado del refuerzo transversal y del refuerzo longitudinal con varillas núm. 4, con un espaciamiento de 20 centímetros y 35 centímetros, respectivamente (ver plano núm. 6).

Del mismo modo que el cilindro intermedio, el armado del refuerzo transversal del cono intermedio de todos los pozos visita, PV1A, PV2, PV3, PV4 y PV5, fue elaborado con varillas núm. 4. El armado del refuerzo longitudinal con varillas núm. 3, ambos con un espaciamiento de 25 centímetros.

El armado del cono superior de todos los pozos de visita, PV1A, PV2, PV3, PV4 y PV5, fue elaborado de la misma manera que el cilindro superior. Se utilizaron varillas núm. 3, tanto para el refuerzo transversal como para el longitudinal, con un espaciamiento de 20 centímetros entre los aros del refuerzo transversal y un espaciamiento de 30 centímetros en el refuerzo longitudinal.

3.7. Formaleta

Las formaletas para la fundición, tanto de la mitad superior del colector como de los pozos de visita, fueron hechas con madera de pino cepillada. Las tablas, tabloncillos y duelas fueron cortadas y ensambladas en obra y aprobadas por el supervisor previo a su colocación. Las formaletas realizadas para el colector fueron de tramos de 1,50 metros lineales y las formaletas para los pozos de tramos de 2,50 metros.

Figura 34. **Formaletas de madera para los pozos**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.8. Fundición

El concreto fue provisto por la Municipalidad de Guatemala. Se colocó la planta de concreto en el parqueo de la Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media (EFPEM) de la Universidad de San Carlos, el cual fue despachado por camiones de concreto premezclado. El concreto utilizado fue de 5 000 PSI con agregado de 3/8 de pulgada. Previo a la fundición de cada área, el supervisor revisó y aprobó el correcto armado y la correcta colocación de la formaleta en el área a fundir.

Tanto en los pozos como en el colector se fundió por medio de tuberías de cloruro de polivinilo (PVC) como elemento conductor del concreto, su coeficiente de rugosidad permitió un flujo de concreto continuo y sin segregación. Cabe mencionar que para este tipo de obra el revenimiento

recomendado a boca del camión mezclador es de 8" y es necesario el uso de aditivos que retarden el fraguado inicial e incrementen la trabajabilidad del concreto.

Para garantizar un concreto de buena calidad se realizaron los ensayos del cono de Abrams y porcentaje de aire en la mezcla fresca y el ensayo de resistencia a la compresión en muestras de concreto endurecido (ver apéndice 9).

Figura 35. **Camión de concreto premezclado**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.8.1. Fundición de colector

La fundición del colector se realizó en dos etapas. La primera etapa consistió en fundir la mitad inferior de la sección (ver figura 38) y la segunda etapa en fundir la mitad superior (ver figura 39), ambas con un espesor de 25 centímetros. Se partió del punto medio entre dos pozos y se fue fundiendo hacia ambos lados hasta llegar a los pozos. Cada dos metros se colocó una línea de arrastre, las cuales fueron retiradas al terminar de fundir cada tramo.

Figura 36. **Fundición del piso del colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

Figura 37. **Fundición de la clave del colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

El concreto se vertió en los pozos de visita y pozos de construcción por dos métodos, los cuales se describen a continuación en los incisos 3.8.1.1. y 3.8.1.2.

3.8.1.1. Avionetas

Se utilizó el mecanismo del *winche* para bajar el concreto en avionetas. El camión mezclador vertió el concreto premezclado en una batea a un costado del pozo (ver figura 40), se cargaron las avionetas utilizando palas, luego se bajó una por una hasta el fondo del pozo donde se encontraba otra batea y se descargó. Con palas se colocó en carretas y se trasladó hasta el punto de fundición, vibrando el concreto para una correcta colocación.

Figura 38. **Uso de avionetas para bajar el concreto**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.8.1.2. Conductos

Utilizando tubería PVC de 4 y 6 pulgadas de diámetro se formaron conductos para trasladar el concreto desde el punto de descarga del camión hasta el colector o los pozos (ver figura 41). Se colocaron tarimas a lo largo de los pozos para evitar la segregación del concreto debido a las grandes profundidades. Al fondo de los pozos se construyeron bateas para recibir el concreto y así mezclarlo y trasladarlo a carretas para transportarlo y colocarlo, utilizando un vibrador para su correcta colocación.

Figura 39. **Implementación de conductos para bajar concreto fresco**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.8.2. Fundición de pozos de visita

Los pozos se fundieron de modo ascendente vertiendo el concreto por el mismo pozo con ayuda de tubería PVC. Primero se fundió el cimientado del pozo, el cual tiene un espesor de 25 centímetros. Luego se fundió el cilindro inferior en 4 tramos de 2,50 metros de altura cada uno, aproximadamente. Se continuó con el cono inferior en una sola etapa, luego el cilindro intermedio en una sola etapa también y el cono intermedio. Para terminar, se fundió el cilindro superior en tramos de 5 metros de altura y finalmente el cono superior.

3.9. Desformateado

La remoción de la formaleta se efectuó a las 24 horas, contadas a partir de la hora en que finalizó la fundición.

3.10. Curado

El curado del concreto recién fundido se realizó durante los 7 días siguientes de la fundición, regando la superficie del concreto. Para esto se utilizaron bombas de agua manuales (ver figura 43). Esto se hace con el fin de alcanzar las propiedades de resistencia y durabilidad necesarias para las que fue diseñado, manteniendo la humedad dentro de un rango específico.

Figura 40. **Curado del concreto en el colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.11. Acabados finales

En la sección inferior del piso del colector se aplicó una capa de cernido utilizando mortero de cemento y arena en proporción 1.3. En la sección superior, se corrigieron las protuberancias utilizando el mismo mortero (ver figura 42). Además, se aplicó mortero en las juntas entre la sección inferior y la sección superior, y entre tramos por formaleta con el fin de evitar infiltraciones.

Figura 41. **Aplicación de mortero en las juntas del colector**



Fuente: Bosque de Las Ardillas, USAC.

3.12. Relleno de derrumbes

Todas las sobre excavaciones y cavernas provenientes de derrumbes del cielo o de los laterales del túnel fueron rellenos, se describen a continuación.

3.12.1. Inferiores a los 15 centímetros

Las sobre excavaciones o derrumbes menores a los 15 centímetros fueron rellenas con la misma mezcla de concreto utilizado en la fundición, como una prolongación del revestimiento del túnel.

3.12.2. Entre 16 centímetros y 1 metro

El relleno de sobre excavaciones o derrumbes entre los 16 centímetros y un metro se efectuó con lodocreto.

3.12.3. Superiores a 1 metro

Las sobre excavaciones o derrumbes mayores a un metro sobre la corona del túnel fueron rellenas con el selecto extraído de la excavación del proyecto, con su debida compactación. Esto se hizo una vez terminada la fundición del revestimiento.

3.12.4. Superior a los 6 metros

En el caso de cúpulas o cavernas con altura superior a los 6 metros se perforó un pozo de acceso desde la superficie hasta la cavidad. De este modo se relleno a partir del exterior con el selecto extraído de la excavación, con su debida compactación.

3.13. Relleno de los pozos de construcción

Una vez terminada la fundición del colector y con autorización del supervisor, se procedió a rellenar los pozos de construcción. Para esto se utilizó el mismo material extraído durante la excavación, excepto por los últimos 10 metros que fueron rellenos con suelocemento. El relleno se efectuó de forma manual por capas de 40 centímetros y se compactó utilizando bailarinas.

3.14. Obras complementarias

Entre las obras complementarias que se implementaron en este alcantarillado combinado están la descarga y la denominada interconexión, las cuales se describen a continuación.

3.14.1. Descarga

Como se indicó en la sección 2.2.6.1., se le llama descarga a la estructura donde desemboca el agua que sale del colector hacia el cuerpo receptor. El proceso para la construcción de esta estructura se describe a continuación.

3.14.1.1. Excavación de dissipador de energía

Previo a iniciar la excavación se desvió el río de aguas combinadas (ver figura 44) y se realizó limpieza en el área para preparar el terreno. Luego, se realizó el trazado y planteo de niveles para proceder a la excavación (ver figura 45). A lo largo de la excavación se hizo replanteo de niveles para evitar errores.

Figura 42. **Desvío del río**



Fuente: Quebrada El Frutal.

El material extraído se utilizó para crear una plataforma a un costado del disipador de energía. Esto evitó que la corriente del río dañara la estructura del disipador.

Figura 43. **Excavación del disipador de energía**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.1.2. Armadura de acero del dissipador de energía

Utilizando acero de refuerzo grado 60 en varillas núm. 3, se realizó la estructura de refuerzo del piso y las paredes del dissipador (ver figura 46). El espaciamiento utilizado fue una cuadrícula de 20 centímetros, asegurando las varillas con alambre de amarre. Con la ayuda de espaciadores de concreto se marcó el recubrimiento de concreto de 10 centímetros.

Figura 44. Armadura del dissipador de energía



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.1.3. Fundición del dissipador de energía

El concreto utilizado para fundir el dissipador de energía fue concreto premezclado de resistencia a la compresión de 5 000 PSI, de igual forma se realizaron los respectivos ensayos. Previo a la colocación de la formaleta se

verificó los niveles y cotas, según planos. Para armar la formaleta se utilizó madera de pino cepillada y se colocó de tal manera que no se produjeran deformaciones o fallas. Antes de colocar el concreto se limpió el área a fundir.

La fundición se llevó a cabo en dos etapas. La primera consistió en la fundición del piso del dissipador de energía con un espesor de 20 centímetros. En la segunda etapa se fundió las paredes del dissipador (ver figura 47), dejando un espesor de 20 centímetros.

Figura 45. **Fundición de muros del dissipador energía**



Fuente: Quebrada El Frutal.

Como parte del dissipador se construyó una serie de gradas y un túmulo frente al tanque utilizando concreto ciclópeo (ver figura 48).

Esto dirige las aguas residuales provenientes del colector hacia el cauce del río, que actualmente únicamente conduce agua de lluvia, pues las aguas residuales ya corren por el colector.

Figura 46 **Fundición de gradas del dissipador de energía**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.1.4. Cabezal de salida

Una vez trazada y nivelada el área del cabezal, se procedió a compactar y colocar formaleta la estructura. Para la fundición se utilizó concreto ciclópeo (ver figura 49). A los costados del cabezal se reforzó la estructura con gaviones.

Figura 47. **Fundición del cabezal de salida del colector**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.1.5. Gaviones

Los gaviones son mallas de alambre de acero galvanizado formando una caja de forma prismática rectangular y rellena de piedra bola o piedra triturada. Las cajas se armaron en su sitio y luego fueron rellenas con piedra triturada mayor a 30 centímetros y los vacíos restantes con piedra de menor tamaño.

Estos fueron utilizados principalmente para proteger la estructura del cabezal (ver figura 50). Previo a su colocación, el terreno fue debidamente

compactado. Los gaviones realizados fueron cajas de 1,00 x 1,00 x 2,00 y cajas de 1,00 x 1,50 x 2,00.

Figura 48. **Gaviones en la descarga**



Fuente: Quebrada El Frutal.

(Ver más fotos en el apéndice 10)

3.14.2. Interconexión

Se le denominó interconexión al área y estructura elaborada para unir el colector existente con el colector nuevo. Esta está conformada por un pozo de visita y 48 metros de colector.

3.14.2.1. Pozo de visita PV1

Antes de iniciar la excavación del pozo se construyeron dos cajas con concreto ciclópeo. Estas fueron ensambladas con tubos PVC de 18 pulgadas

con el fin de desviar el caudal de aguas combinadas fuera del área donde se llevaría a cabo la conexión del colector existente con el colector nuevo (ver figura 51). Se abrió un agujero en la parte inferior del colector existente, a 5 metros de su desembocadura, para desviar las aguas residuales y se inició con la excavación.

Figura 49. **Desvío del caudal de aguas residuales**



Fuente: Quebrada El Frutal.

La excavación del pozo se llevó a cabo de forma manual utilizando picos, palas y barrenos (ver figura 52). Este se hizo con un diámetro único de 4,40 metros y una profundidad de 7,25 metros.

Figura 50. **Excavación del PV1**



Fuente: Quebrada El Frutal.

Para el refuerzo del pozo se utilizó varillas núm. 5 grado 60. El cimiento del pozo se armó con doble cama formando una cuadrícula de 20 centímetros. Para las paredes del pozo se realizó una cuadrícula de 30 centímetros.

Se fundió un espesor de 30 centímetros con concreto elaborado in situ. La mezcla fue elaborada con agregado grueso de $\frac{3}{4}$ de pulgada, arena de río y cemento estructural de 5 800 PSI para alcanzar un concreto con resistencia de 5 000 PSI.

3.14.2.2. Preparación del terreno

Una vez desviado el caudal de aguas residuales se procedió a vaciar la poza de agua formada por la descarga del colector existente (ver figura 53). Debido a la alta contaminación del agua, el agua fue desplazada relleno con piedra la poza con el fin de sacar el agua por empuje. Para terminar, se utilizó una bomba de achique con el fin de extraer el agua restante.

Figura 51. **Vaciado de la posa de agua residual**

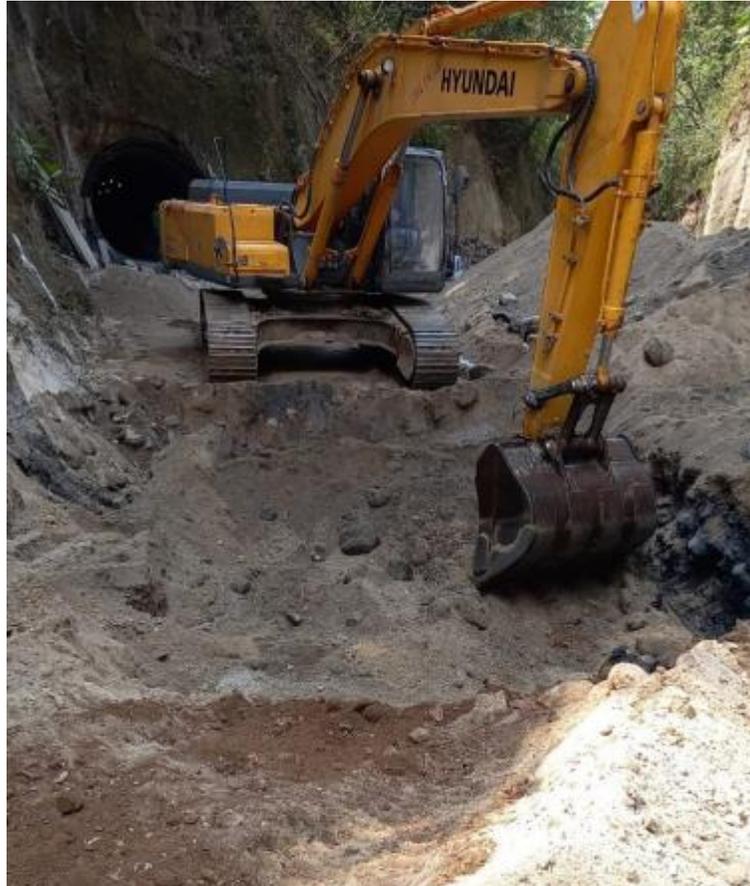


Fuente: Quebrada El Frutal.

Como se indicó en la sección 2.4.4., el suelo del área de la interconexión fue modificado removiendo todo el material con presencia de materia orgánica y sustituyéndolo con roca. Para el relleno de 2,40 metros se procedió de la siguiente manera:

- Primero se removió el material existente hasta encontrar suelo estable, aproximadamente a los 2,40 metros a partir del lecho del río.

Figura 52. **Excavación área interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

- Se colocó la primera capa de roca de 20 centímetros de espesor utilizando diferentes tamaños de rocas para no exceder el espesor.

Figura 53. **Primera capa de roca para base de la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

- La segunda capa colocada fueron otros 20 centímetros de roca junto con selecto para rellenar los vacíos.

Figura 54. **Segunda capa para base de la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

- Luego se colocó la tercera capa la cual consta de material selecto con una densidad de compactación mínima de $1,65 \text{ g/cm}^3$ y un valor de CBR de 35. La compactación del selecto se hizo en capas de 20 centímetros compuesto por suelo limo arenoso con proctor modificado al 95 %.

Figura 55. **Segunda capa para base de la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

- La siguiente capa es la que está en contacto con la tubería. Esta se hizo con suelo cemento con una relación 20:1 en volumen compactado en dos capas de 40 centímetros.

Figura 56. **Segunda capa para base de la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.2.3. Colector

El colector de esta área se elaboró de forma similar al resto del colector, pero con algunos cambios, los cuales se describen a continuación.

3.14.2.3.1. Armadura

La sección circular del colector en el tramo de la interconexión tiene un diámetro interno de 2,8 metros. La armadura consta de dos camadas. El refuerzo transversal interior y exterior (anillos) está colocado a cada 20 centímetros, con su respectivo traslape alternado entre los anillos internos y externos. El refuerzo

longitudinal interno y externo está colocado a cada 25 centímetros, igualmente con su respectivo traslape. Para dicha armadura se utilizó varillas núm. 4 grado 60. (Ver plano núm. 7).

Figura 57. **Armado del colector en la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.2.3.2. Fundición

Del mismo modo que en el colector subterráneo, el colector se fundió en dos etapas: media sección inferior (ver figura 60) y media sección superior, con un espesor de 25 centímetros. Para la sección inferior se dejó una base cuadrada, facilitando la fundición y mejorando la distribución de carga del colector. La mezcla de concreto se realizó in situ utilizando concreteras, del mismo modo que en el pozo PV1.

Figura 58. **Fundición del colector en la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

Para unir el colector antiguo con el colector nuevo se demolió una parte del colector antiguo y se construyó un pozo. El pozo PV1 sirvió para unir ambos colectores manteniendo el flujo adecuado dentro de la tubería.

3.14.2.4. Relleno

El relleno está conformado de material selecto, el cual se obtuvo de la excavación realizada para los pozos y colector del proyecto. Este fue colocado y compactado con la ayuda de una retroexcavadora (ver figura 61) y rodo (ver

figura 62). El relleno se encuentra en contacto con el talud en ambos lados y en la parte aguas abajo terminó con un talud de relación 2,5:1.

Figura 59. **Relleno del colector en la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

Se dejó una pendiente del 3 % para que el agua de escorrentía provocada por la lluvia corra hacia las cunetas y no ocasione erosión en el relleno.

Figura 60. **Compactación del relleno del colector en la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

3.14.2.5. Cunetas y vertederos

Para proteger el relleno y el colector de la posible infiltración del agua de escorrentía se construyeron dos vertederos y cunetas que guían el agua hacia adentro del colector y hacia el cauce del antiguo río de aguas combinadas (ver figura 63). Estas se construyeron con un concreto simple de 1 500 PSI. Junto con las cunetas se colocó geotextil sobre el relleno para protegerlo.

Figura 61. **Vertedero y cunetas en la interconexión**



Fuente: Quebrada El Frutal.

(Ver más fotos en el apéndice 11)

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los sistemas de alcantarillado son obras de suma importancia en una población para el correcto manejo de las aguas residuales y combinadas; sin embargo, en Guatemala no se le presta la atención que merece provocando un riesgo latente. En el proceso constructivo de esta obra fue notorio cómo aun cuando la tecnología con la que se cuenta es muy avanzada, se siguen utilizando métodos tradicionales.

Durante la ejecución de la construcción del sistema de alcantarillado en el bosque de Las Ardillas se presentaron hechos que afectaron el proceso de construcción, los cuales se citan a continuación a manera de resumen, y que influyeron en el tiempo de ejecución, así como en el incremento del valor de la obra.

El trazo inicial del diseño presentado por EMPAGUA no era viable realizarlo en obra porque parte del alineamiento horizontal estaba ubicado sobre propiedad privada. Esto se supo durante la excavación del pozo ubicado en esta área, por lo que se procedió a rellenarlo con lodocreto y excavar un nuevo pozo dentro del área de la universidad. El alineamiento vertical tampoco era viable porque según la topografía el desfogue del agua salía por debajo del cauce original. Esto obligó a realizar un nuevo diseño sobre la marcha del proyecto.

Derivado del nuevo diseño se realizó una inspección in situ en la cual se determinó que de la estación 0+000,00 a la estación 0+048,50, del plano de interconexión entre la vertiente actual y el portal del túnel (plano num. 7).

Era necesario realizar un diseño especial, ya que la obra en ese caso específico debía de realizarse a cielo abierto. Además, el suelo donde se ubicaría esta sección del colector estaba afectado por el agua proveniente del colector existente, donde se formó una gran poza de agua contaminada. Dicha área fue excavada y trabajada como una obra vial, reacomodando el terreno por capas conformadas por material selecto y roca, con el objeto de brindar una capacidad soporte adecuada para soportar las cargas del colector a construirse.

Para hacer la unión del colector existente con el colector nuevo se demolió una parte del colector existente y en ese espacio se construyó un pozo para bajar al nivel requerido. Todos estos trabajos entre el colector existente y el colector del diseño original no estaban contemplados dentro del proyecto, lo cual derivó en la necesidad de un acuerdo de trabajo extra, incrementando el valor del proyecto y el tiempo de ejecución, a excepción del pozo PV1, mismo que si estaba contemplado en el proyecto original, pero hubo necesidad de añadir un pozo adicional nombrado en planos como PV1A.

Durante el proceso constructivo de estos trabajos extra se complicó la ejecución, ya que empezó la época de lluvia. Los trabajos con maquinaria fueron suspendidos porque la lluvia y el incremento del caudal de las aguas combinadas provenientes del colector antiguo impedían trabajar la mejora del suelo de apoyo. Para solventar esto se trabajó esta área en dos partes. Se completó la sustitución del suelo de medio tramo en el tramo adyacente al colector nuevo, y se avanzó con el armado y la fundición del colector en ese tramo. Las fundiciones se realizaron en tramos de 3,00 metros por la misma razón de que el incremento del caudal de las aguas combinadas no permitía trabajar de manera segura. El tramo restante se logró llevar a cabo al regresar la época seca.

De acuerdo con los estudios geotécnicos realizados a lo largo del Bosque de Las Ardillas, algunas zonas presentan suelo no cohesivo por lo que no fue conveniente el uso de maquinaria. La excavación manual fue la única alternativa posible debido al cambio de nivel de rasante en los pozos, lo cual impidió forma mecánica de perforar el túnel, es de hacer notar que el ritmo de excavación y posterior tallado de la circunferencia de diseño nunca se vio afectada de forma manual. En las zonas de riesgo se utilizó entibado con madera para proteger a los trabajadores y avanzar en la excavación, armadura y fundición, pero por seguridad se debe entibar toda el área en que se realiza una excavación tipo túnel. Es importante siempre prestar atención a los estudios geotécnicos tanto para el diseño como para la ejecución de una obra de construcción.

Mediante estudios efectuados del refuerzo del colector en toda su extensión se determinó la necesidad de cambiar el espaciamiento del refuerzo transversal de 0,25 a 0,20 metros. Esto incidió en un aumento en la cantidad de acero núm. 4 equivalente a 1 410,00 quintales, ocasionando un incremento en el presupuesto y demora en el cronograma al presentar la orden de trabajo suplementario y esperar su aprobación por parte de las autoridades respectivas.

La cantidad de madera utilizada para hacer las formaletas fue más de lo previsto al iniciar el proyecto. Esto debido a que en el túnel había mucha humedad, lo que debilitó la madera rápidamente y el número de usos fue menor al esperado. Además, la cantidad de derrumbes por el tipo de suelo quebró una considerable cantidad de madera que tuvo que ser reemplazada varias veces. Para evitar estos inconvenientes se puede utilizar un material distinto, como metal o aluminio, los cuales son más utilizados en países que permiten este tipo de inversión, ya que las formaletas metálicas son sustancialmente más onerosas.

Generalmente, en las obras de construcción superficiales se considera un desperdicio de concreto del 10 %; sin embargo, las obras de construcción como este proyecto, por el método de fundición, requiere considerar un desperdicio mayor al habitual, el cual es de aproximadamente 20 % y es importante tomarlo en cuenta desde el inicio del proyecto.

En este tipo de obras los mayores atrasos se presentan en la excavación y en la fundición, debido a los derrumbes y a lo complejo del método utilizado. Parte de los inconvenientes fueron consecuencia de ejecutar el proyecto 8 años después de haberse diseñado, lo que provocó los cambios ya citados.

Los atrasos en tiempo ocurrido en este proyecto se debieron a 3 razones fundamentales; la primera el efecto que ocasionó la pandemia del SARS COVID 19 que obligó a la suspensión total de las labores, la segunda el atraso en la discusión y aprobación por parte de EMPAGUA del nuevo armado del colector y la tercera derivada de las suspensiones temporales del proyecto por razones de época lluviosa y administrativas. Lo anterior da como resultado que el proyecto se diera por terminado el 17 de noviembre del 2021, cuando su fecha original estaba considerada para el 15 de diciembre del 2019.

Las incidencias económicas producto de la orden de cambio, orden de trabajo suplementario y acuerdo de trabajo extra incrementaron el proyecto en Q 2 909 247,80.

CONCLUSIONES

1. La descripción del proceso constructivo que se siguió para la ejecución del sistema de alcantarillado del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, citado en el capítulo 3, siguió los parámetros establecidos en el Código ACI, las especificaciones ASTM y COGUANOR, la Norma AGIES y el *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala*.
2. Fueron varios los estudios que se realizaron durante el proceso constructivo del sistema de alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala; topográficos, que son de suma importancia para mantener el alineamiento horizontal y vertical; geológicos los cuales proporcionan información necesaria para el reconocimiento estructural; geométrico, litológico y geomorfológico; y los geotécnicos, como los sondeos y penetrómetros, que son una herramienta de identificación y resistencia de los materiales.
3. En el alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala se utilizaron tres obras complementarias. La descarga que está ubicada al final del colector junto con su cabezal para proteger el ambiente circundante y la descarga en sí, los disipadores de energía de caída vertical en cada pozo de visita y el disipador de energía de tanque amortiguador colocado frente a la descarga para recibir las aguas combinadas previo a ser depositadas en el cauce del río. La interconexión fue obra complementaria por ser construida como una estructura de unión entre el colector existente y el colector en ejecución.

4. El proceso de construcción del sistema de alcantarillado de la Universidad de San Carlos de Guatemala se realizó en cuatro etapas: excavación, armado, formaleta y fundición. La excavación se llevó a cabo de forma manual como se indicó en el capítulo 3.4. La armadura del colector se realizó con acero núm. 4 y los pozos de visita con una combinación de acero núm. 3, núm. 4 y núm. 5 como se explicó en el capítulo 3.6. Para las formaletas se utilizó el método de formaletas deslizantes fabricadas de madera, en este caso específico, con duelas de 10 centímetros de ancho por 1,50 metros de largo. La fundición fue realizada con concreto premezclado de 5 000 PSI, como se detalló en el capítulo 3.8. Tanto en los pozos como en el colector se fundió por medio de tuberías de PVC, como elemento conductor del concreto.

RECOMENDACIONES

1. Mantener una correcta ventilación durante el proceso de excavación de pozos y túneles con el fin de evitar la inhalación de gases tóxicos.
2. Realizar un correcto entibado durante la excavación manual de pozos y túneles para evitar accidentes en caso de haber desprendimiento de suelo.
3. Contratar a un supervisor que se dedique a verificar la seguridad ocupacional durante la construcción de un sistema de alcantarillado, con el fin de disminuir los incidentes y evitar un accidente.
4. Ejecutar las obras de construcción de sistemas de alcantarillado en época seca para evitar contratiempos y riesgo ocasionados por la lluvia.
5. Verificar, previo a iniciar un proyecto, que el diseño y la planificación iniciales sean aplicables al tiempo de ejecución para evitar atrasos en la ejecución.
6. Acompañar de topografía todo el proceso de construcción de un alcantarillado para mantener el alineamiento y pendiente correctos.
7. Prestar atención a los estudios geotécnicos, tanto para el diseño como para la ejecución de una obra de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, Mirna. *Las inundaciones tienen un denominador común: la ineficiencia de las autoridades.* [en línea]. <<https://laprensa.com.gt/2019/05/20/las-inundaciones-tienen-un-denominador-comun-la-ineficiencia-de-las-autoridades/>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2020].
2. ÁLVAREZ MUÑOZ, Otto Fernando. *Actualización de normas y reglamento de drenajes para la ciudad de Guatemala.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 120 p.
3. American Concrete Institute. *Requisitos de Reglamento para concreto estructural (ACI 318SUS-14) y comentario (ACI 318RSUS-14).* Farmington Hills, MI: ACI Comité 318, 2014. 587 p.
4. American Society for Testing and Materials. *Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of solids.* Estados Unidos: ASTM International, 2011. 9 p.
5. Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos. *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2.1.* Guatemala: AGIES, 2018. 60 p.

6. AUDEFROY, Joel. *El alcantarillado sanitario como modelo global de construcción de riesgo local*. Puerto Rico: Revista Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, 2011. 41 p.
7. AYALA, Luis; FRANCO, Alejandro; PADILLA, Edgar. *Evaluación de la eficiencia en disipación de energía en estructuras hidráulicas construidas con gaviones y material reciclado (neumático usado) mediante modelamiento físico a escala reducida*. Colombia: Revista UIS Ingenierías, 2019. 12 p.
8. BATRES, A., & Orozco, A. *Hundimientos en la capital*. [en línea]. <<https://lahora.gt/hemeroteca-lh/hundimientos-en-la-capital/>>. [Consulta: noviembre de 2020].
9. CABEZAS ALARCÓN, Felipe ALONSO. *Método constructivo de un sistema de alcantarillado en túnel aplicado al tramo 4-E para la descontaminación del río Machángara*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2011. 114 p.
10. Comisión Guatemalteca de Normas. *Barras de acero al carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR, 2013. 17 p.
11. _____. *Juntas flexibles para tubos de concreto y pozos de visita usando empaques de hule. Especificaciones*. Guatemala: COGUANOR, 2013. 12 p.

12. _____. *Tubos de concreto no reforzado para conducción de aguas servidas, desechos industriales y aguas pluviales o de escorrentía. Especificaciones.* Guatemala: COGUANOR, 2013. 14 p.
13. _____. *Tubos de concreto reforzado para conducción de aguas servidas, desechos industriales y aguas pluviales o de escorrentía. Especificaciones.* Guatemala: COGUANOR, 2013. 12 p.
14. Comisión Nacional del Agua. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario.* México: CONAGUA, 2009. 122 p.
15. _____. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento: diseño estructural.* Libro 6. México: CONAGUA, 2019. 298 p.
16. _____. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Estudios técnicos para proyectos de agua potable, alcantarillado y saneamiento: topografía y mecánica de suelos.* Libro 5. México: CONAGUA, 2019. 174 p.
17. Comisión Nacional de Salud Ocupacional del Sector de la Construcción. *Guía trabajo seguro en excavaciones.* Colombia: Ministerio del Trabajo, 2014. 57 p.

18. DUQUE VILLAREAL, Natalia. *Metodología para el diseño optimizado de redes de alcantarillado*. Tesis de maestría de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes, Bogotá Colombia, 2015. 100 p.
19. Empresas públicas de Medellín. *Guía para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado*. Colombia: E. S. P., 2009. 71 p.
20. _____. *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de las empresas públicas de Medellín*. Colombia: E. S. P., 2013. 202 p.
21. ESPAÑA, Mariajosé. *Aguas negras amenazan a la ciudad de Guatemala; EDOM 1972-2000 fue olvidado*. [en línea]. <<https://lahora.gt/hemeroteca-lh/aguas-negras-amenazan-a-la-ciudad-de-guatemala-edom-19722000-fue-olvidado/>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2020].
22. Gobierno de México. *Revestimiento de túneles. CTR. Construcción*. [en línea]. <<https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-05-008-00.pdf>>. [Consulta: 10 de septiembre de 2021].
23. GUATEMALA. Decreto núm. 179-2001. *Declaratoria de sectores de alto riesgo de las cuencas Amatitlán, Villalobos y Michatoya*. Guatemala: CONRED, 2001. 4 p.

24. HIGUEROS ESTRADA, Ángel Remigio. *Análisis del sistema de drenajes existente en la zona 09 de la ciudad de Guatemala, mediante un sistema de información geográfica*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 169 p.
25. INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL. *Normas Generales para diseño de alcantarillados*. Guatemala: INFOM, 2001. 22 p.
26. MATA ROMUALDO, José Luis. *Investigación experimental de flujo transitorio mixto debido al llenado rápido de un sistema de alcantarillado que contiene aire atrapado*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, 2004. 91 p.
27. MEDINA, Edwin. *USAC firma convenio con la Municipalidad de Guatemala*. [en línea]. <<https://soy.usac.edu.gt/?p=3612>>. [Consulta: 9 de noviembre de 2020].
28. MOLINA ACEVEDO, Luis Carlos. *Mierda: Símbolos y Significado*. Berlín: GD Publishing Ltd. & Co KG, 2016. 344 p.
29. Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para el diseño y construcción de drenajes*. Guatemala: Dirección de Aguas y Drenajes, 1964. 13 p.

30. OROZCO RAMÍREZ, Heidi Hannah Beatrix. *Diseño de disipador de energía para el desfogue del colector que desemboca en la quebrada Las Ardillas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2019. 66 p.
31. PATZÁN, José Manuel. *Colector de Q20 millones evitaría colapsos de terreno y mejoraría conducción de aguas pluviales en la zona 12*. [en línea]. <<https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades/colector-de-q20-millones-evitaria-colapsos-de-terreno-y-mejoraria-conduccion-de-aguas-pluviales-en-la-zona-12/>>. [Consulta: 9 de noviembre de 2020].
32. PÉREZ CARMONA, Rafael. *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2013. 566 p.
33. Procuraduría de los Derechos Humanos. *Colección rescate de la memoria histórica de la persona Manuel Colom Argueta*. Guatemala: Procuraduría de los Derechos Humanos, 2002. 185 p.
34. Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*. 22a edición. [en línea]. <<http://lema.rae.es/drae/>>. [Consulta: 19 de noviembre de 2020].

35. SAMAYOA MONZÓN, Juan José. *Recarga de acuíferos mediante infiltración provocada a través de la infraestructura de la red de alcantarillado de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 131 p.
36. SÁNCHEZ, Rony Maynor. *Guía para inspecciones de colectores, en la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA)*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010. 78 p.
37. SIKA. *Manual Sika sobre hormigón proyectado*. 4a ed. Suiza: Sika Services AG. 2011. 87 p.
38. SIKA S. A. U. *Túneles y obras subterráneas*. España: Gráficas Couché, S.L. 2010. 211 p.
39. TIPOGRAFÍA NACIONAL. *Estudio del alcantarillado de Guatemala. El Progreso Nacional. Guatemala*. [en línea]. <<https://fdocuments.ec/document/historia-del-alcantarillado-en-guatemala-1857.html>>. [Consulta: 6 de noviembre de 2020].
40. VÉLIZ VEGA, Herman. *Construcción de túneles, su aplicación y experiencias en el túnel colector 10-13-14*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala, 1975. 109 p.

41. YEPES PIQUERAS, Víctor. *Métodos de construcción de túneles*. [en línea]. <<https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/11/21/>>. [Consulta: 9 de septiembre de 2021].

APÉNDICES

Apéndice 1. Dimensiones nominales de las barras de refuerzo

Designación de la varilla	Diámetro de referencia en pulgadas	Diámetro en mm	Área en mm ²	Perímetro	Masa en kg/m
núm. 2	1/4"	6,4	32	20	0,250
núm. 3	3/8"	9,5	71	30	0,560
núm. 4	1/2"	12,7	129	40	0,994
núm. 5	5/8"	15,9	199	50	1,552
núm. 6	3/4"	19,1	284	60	2,235
núm. 7	7/8"	22,2	387	70	3,042
núm. 8	1"	25,4	510	80	3,973
núm. 9	1-1/8"	28,7	645	90	5,060
núm. 10	1-1/4"	32,3	819	101,3	6,404
núm. 11	1-3/8"	35,8	1 006	112,5	7,907
núm. 14	1-3/4"	43,0	1 452	135,1	11,380
núm. 18	2-1/4"	57,3	2 581	180,1	20,240

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Excavación de pozos



Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 3. Excavación de túnel para el colector



Continuación del apéndice 3.



Continuación del apéndice 3.



Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 4. Ensayo SPT



Fuente: elaboración propia, Quebrada El Frutal.

Apéndice 5. Entibado en zonas de riesgo



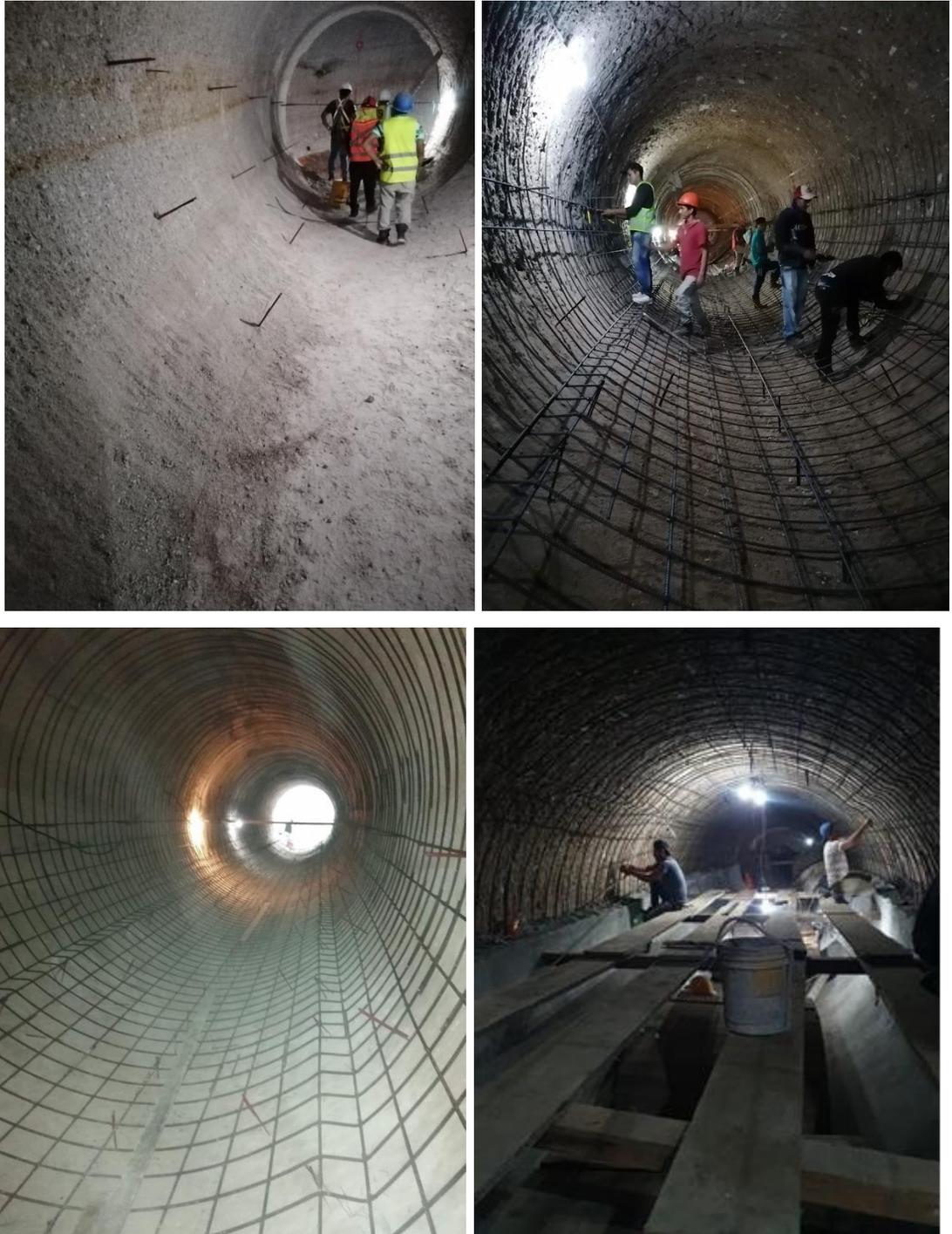
Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 6. Armado de pozos de visita



Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 7. Armado de colector



Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 8. Fundición de pozos y colector



Continuación del apéndice 8.



Continuación del apéndice 8.



Continuación del apéndice 8.



Continuación del apéndice 8.



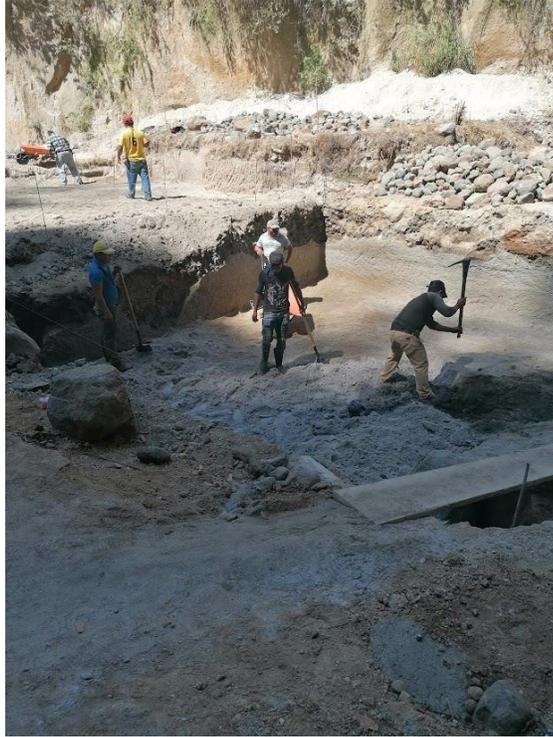
Fuente: elaboración propia, Bosque de Las Ardillas, USAC.

Apéndice 9. Ensayos en concreto



Fuente: elaboración propia, USAC.

Apéndice 10. Descarga



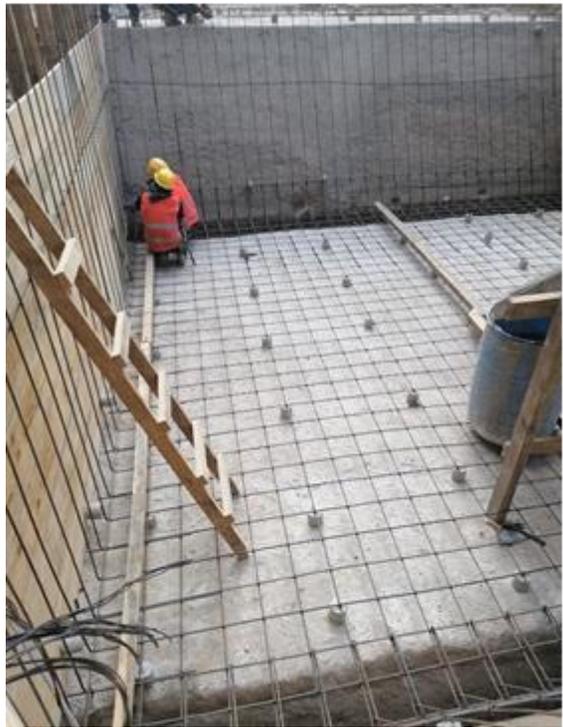
Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Continuación del apéndice 10.



Fuente: elaboración propia, Quebrada El Frutal.

Apéndice 11. Interconexión



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



Continuación del apéndice 11.



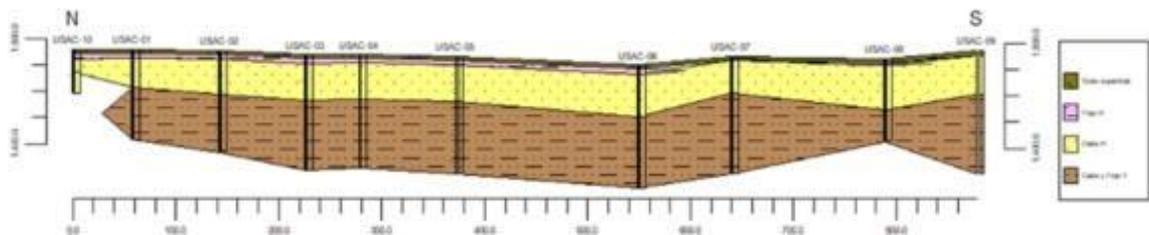
Continuación del apéndice 11.



Fuente: elaboración propia, Quebrada El Frutal.

ANEXOS

Anexo 1. Correlación de sondeos



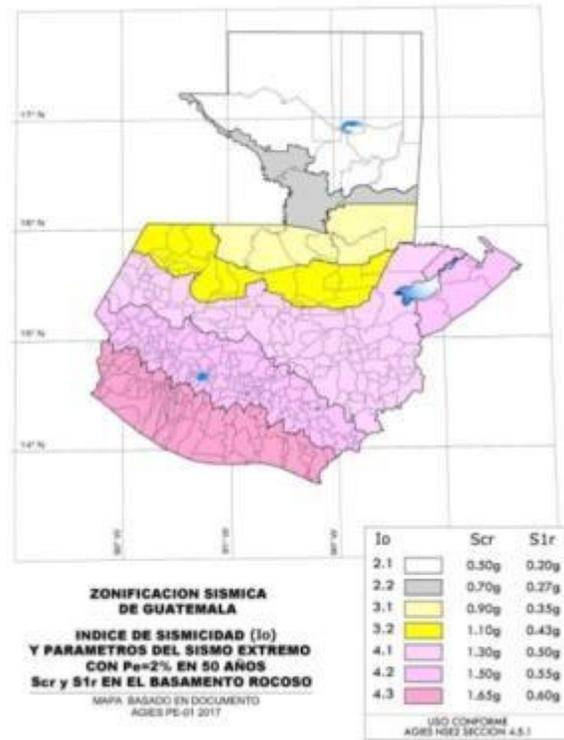
Fuente: Grupo PHI S.A. *Estudios geológico-geofísico*. p. 54.

Anexo 2. Parámetros sísmicos

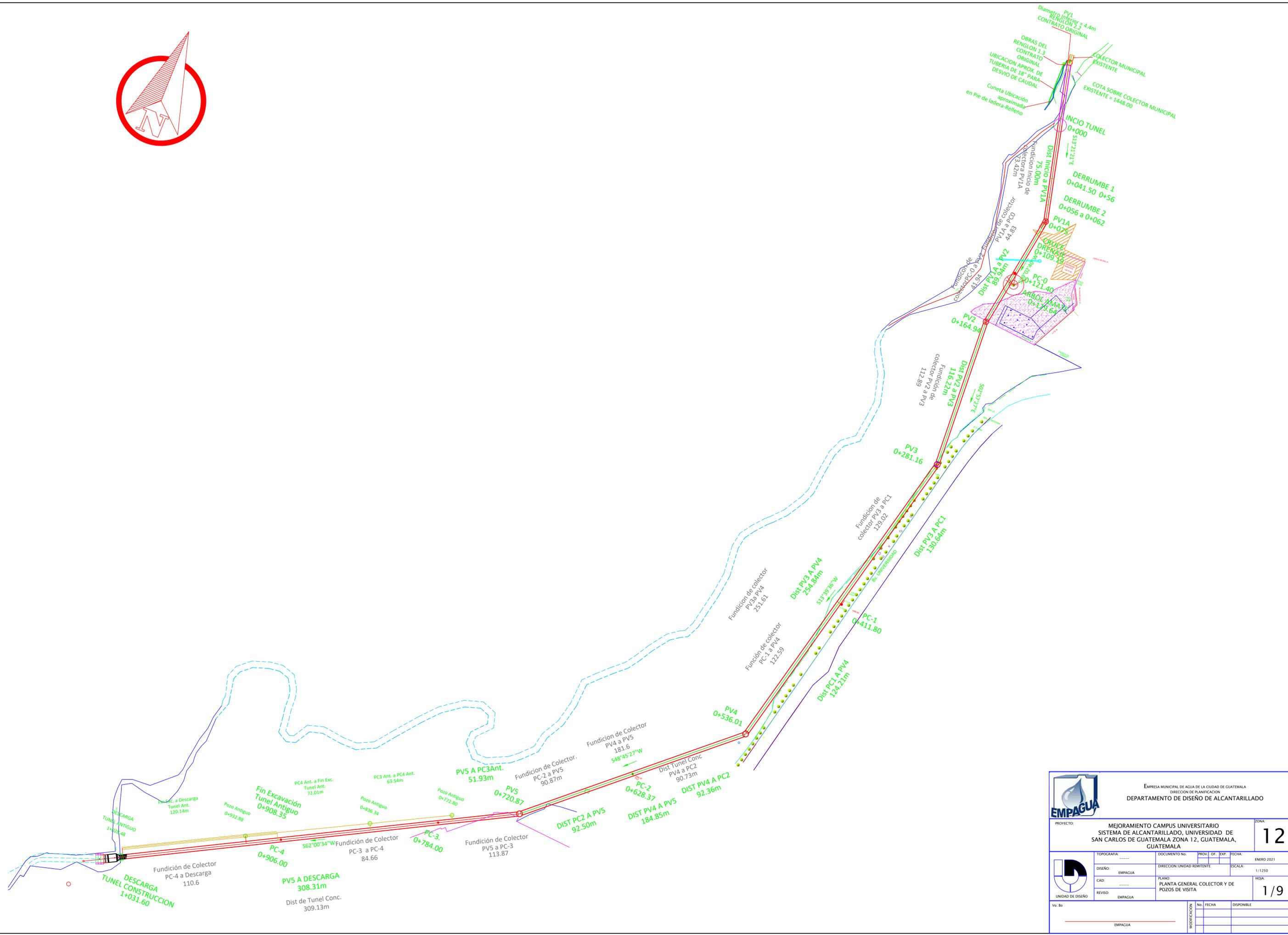
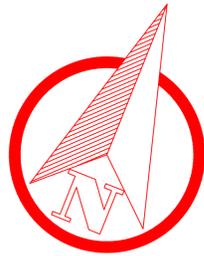
Parámetros	Valores Sitio D
Índice de Sismicidad del Sitio (I_0)	4.2
Ordenada Espectral de período Corto (S_{CR}) - g	1.5
Ordenada Espectral de período 1 s (S_{1R}) - g	0.55
Coefficiente de Sitio para período de vibración corto (F_a)	1
Coefficiente de Sitio para período de 1 s (F_v)	1.7
Factor de escala (K_D)	0.55
Factor de proximidad de Falla para períodos cortos (N_a)**	1
Factor de proximidad de Falla para períodos largos (N_v)**	1
Aceleración máxima del suelo (AMSD) - g	0.3300

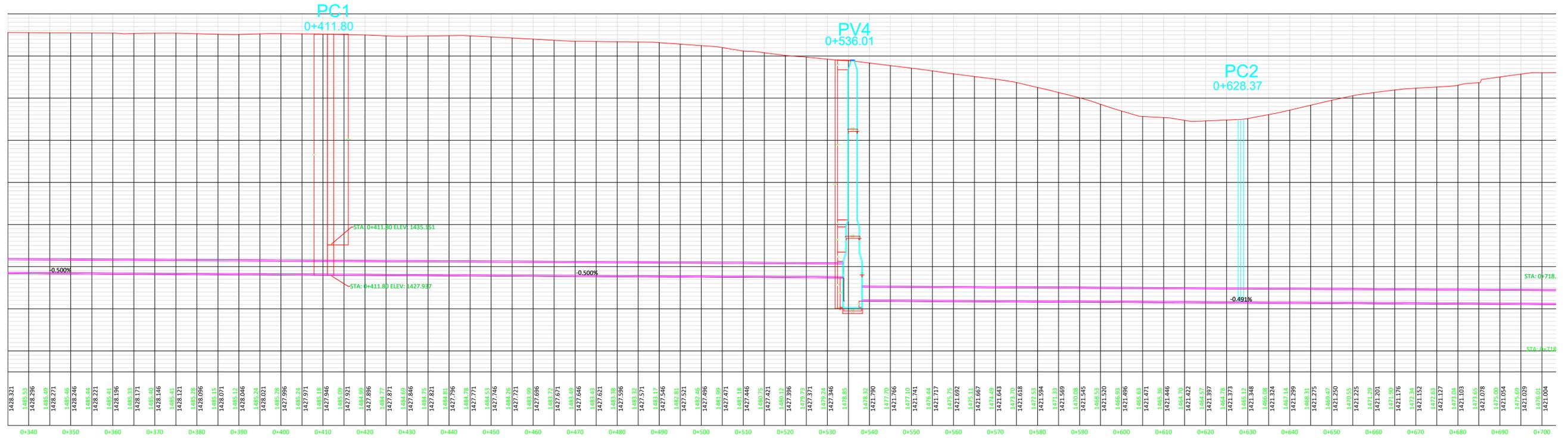
Fuente: Grupo PHI S.A. *Exploración geotécnica*. p. 13.

Anexo 3. **Zonificación sísmica de Guatemala**



Fuente: AGIES. *Normas de seguridad estructural para Guatemala NSE 2 demandas estructurales y condiciones de sitio.* p. 4-6.



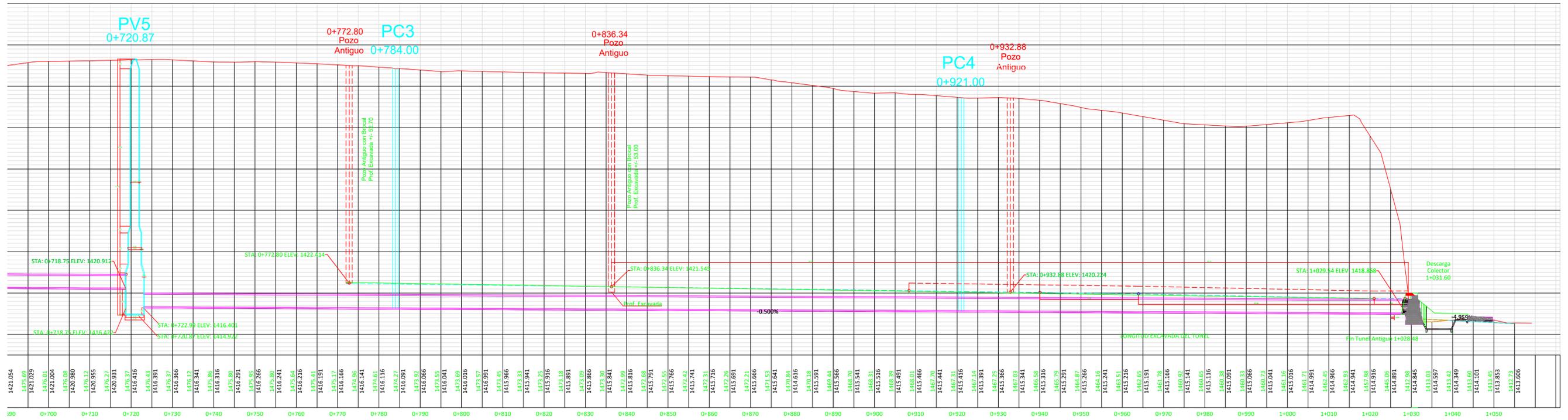




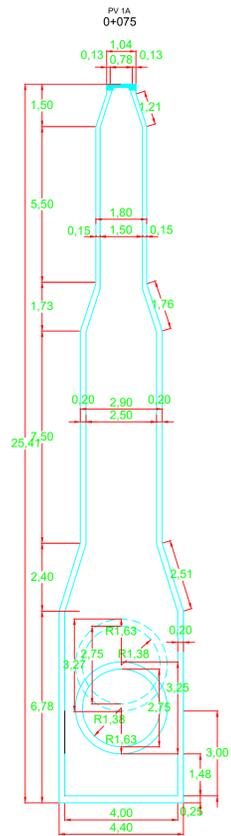
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA
DIRECCION DE PLANIFICACION
DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE ALCANTARILLADO

PROYECTO: MEJORAMIENTO CAMPUS UNIVERSITARIO SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, GUATEMALA, GUATEMALA		ZONA: 12
TOPOGRAFIA: -----	DOCUMENTO No.:	PROV. DE. EXP. FECHA: ENERO 2021
DISEÑO: EMPAGUA	DIRECCION/UNIDAD REMITENTE:	ESCALA: 1/500
CAD: -----	PLANO:	HOJA: 3/9
REVISÓ: EMPAGUA	PERFIL DE LA 0+340 A 0+700	

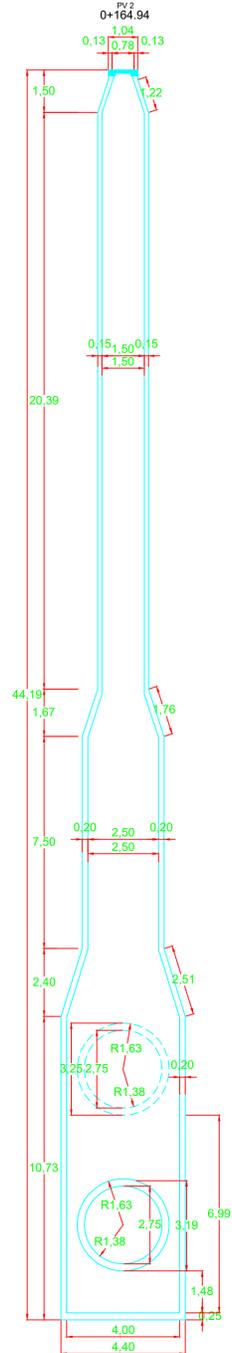
No. Ho	FECHA	DISPONIBLE



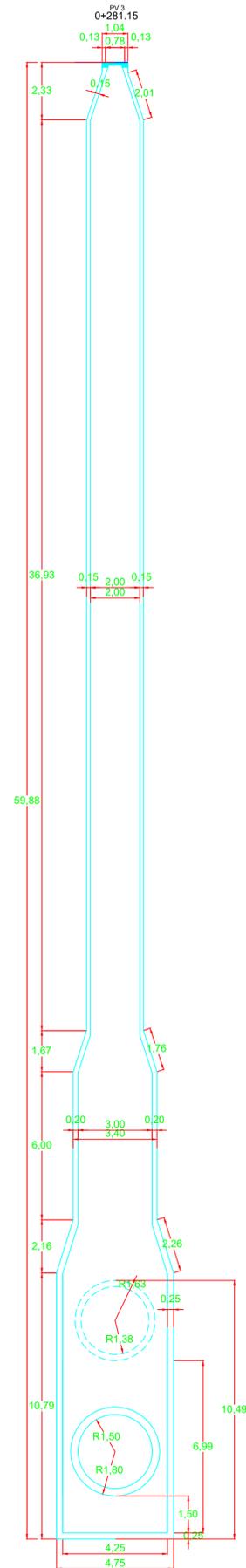
		EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		ZONA:
		DIRECCION DE PLANIFICACION		
DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE ALCANTARILLADO		PROYECTO: MEJORAMIENTO CAMPUS UNIVERSITARIO SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, GUATEMALA, GUATEMALA		
TOPOGRAFIA: -----	DOCUMENTO No.:	PROY.:	DEF.:	FECHA:
DISEÑO: EMPAGUA	DIRECCION/UNIDAD REMITENTE:	ENERO 2021		
CAD: -----	PLANO:	ESCALA:		1/500
REVISO: EMPAGUA	PERFIL DE LA 0+700 A 1+050			HOJA: 4/9
No. Ho		No.	FECHA	DISPONIBLE
EMPAGUA				



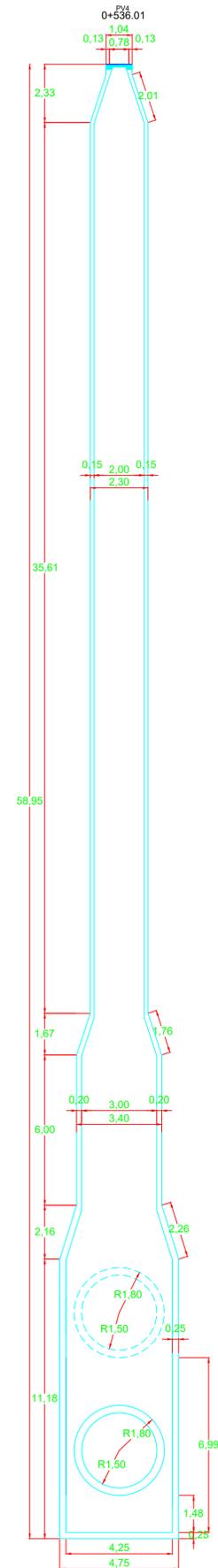
POZO DE VISITA No. 1
ESC 1/125



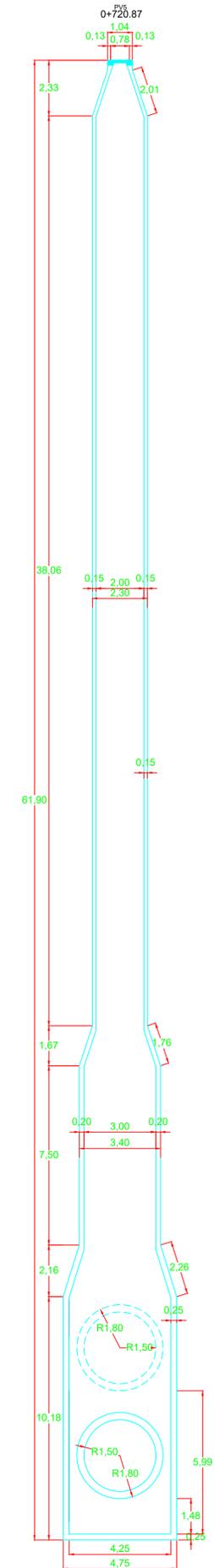
POZO DE VISITA No. 2
ESC 1/125



POZO DE VISITA No. 3
ESC 1/125



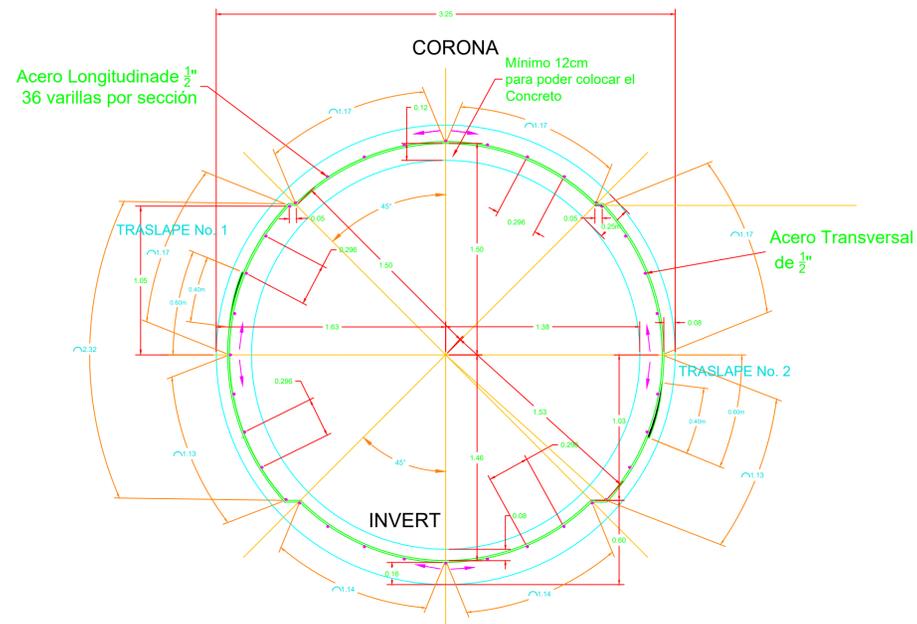
POZO DE VISITA No. 4
ESC 1/125



POZO DE VISITA No. 5
ESC 1/125

		EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA DIRECCION DE PLANIFICACION DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE ALCANTARILLADO			
		PROYECTO:	MEJORAMIENTO CAMPUS UNIVERSITARIO SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, GUATEMALA, GUATEMALA		
					12
TOPOGRAFIA:	-----	DOCUMENTO No.:	PROY DE EXP.	FECHA:	ENERO 2021
DISEÑO:	EMPAGUA	DIRECCION UNIDAD REMITENTE:	ESCALA:	INDICADA	
CAD:	-----	PLANO:	PLANO GEOMETRIA DE POZOS DE VISITA		HOJA:
REVISÓ:	EMPAGUA				5/9
UNIDAD DE DISEÑO:					
Vs. Bó					
		MODIFICACION	No.	FECHA	DISPONIBLE

ARMADO DE COLECTOR DE SECCION PEQUEÑA
DE PORTAL DE TUNEL A PV3



DETALLE DE ARMADO No 1 (TRASLAPES)

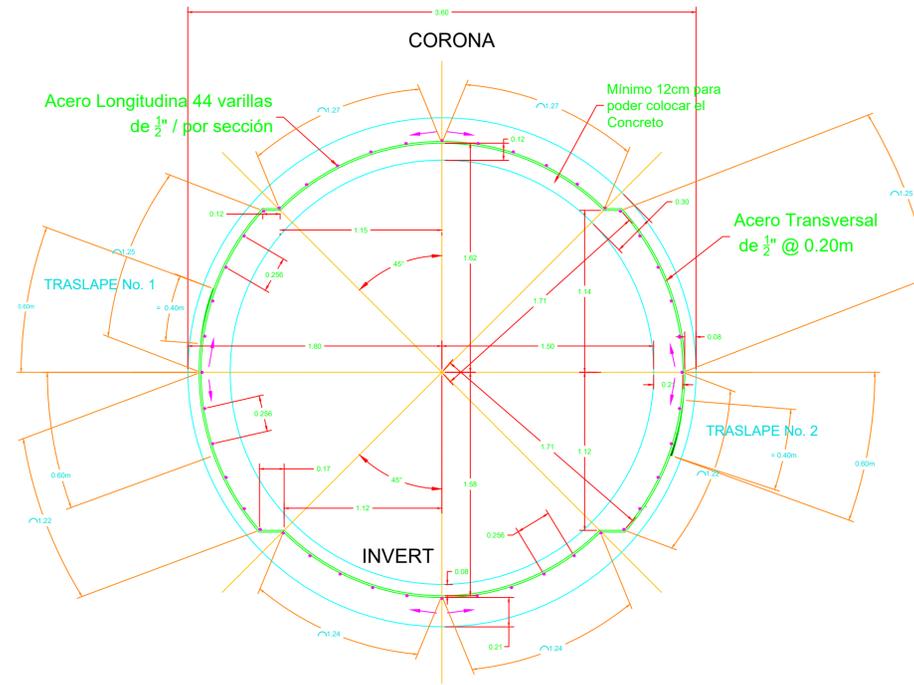
LOS TRASLAPES VAN ALTERNADOS CON EL ARMADO QUE SE INDICA EN EL DETALLE DE ARMADO No. 2, REPITIENDOSE EL CICLO PARA EVITAR QUE LOS TRASLAPES DE ACERO QUEDEN EN LA MISMA POSICION

NOTAS:

* LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE VARILLAS LONGITUDINALES SE MEDIRAN A LO LARGO DEL ACERO TRANSVERSAL A PARTIR DE LOS EJES PRINCIPALES X, Y EN DIRECCION RADIAL HACIA LOS CAMBIOS ENTRE EL ARMADO A TENSION DEJANDO UN PEQUEÑO AJUSTE EN DISTANCIA EN EL ULTIMO TRAMO EN ESTE PUNTO.

* LAS MEDIDAS DE LOS ARCOS DE CIRCUNFERENCIA DEL ARMADO ESTAN DE CENTRO A CENTRO DE CADA DOBLEZ

ARMADO DE COLECTOR DE SECCION GRANDE
DE PV3 A DESCARGA



DETALLE DE ARMADO No 1 (TRASLAPES)

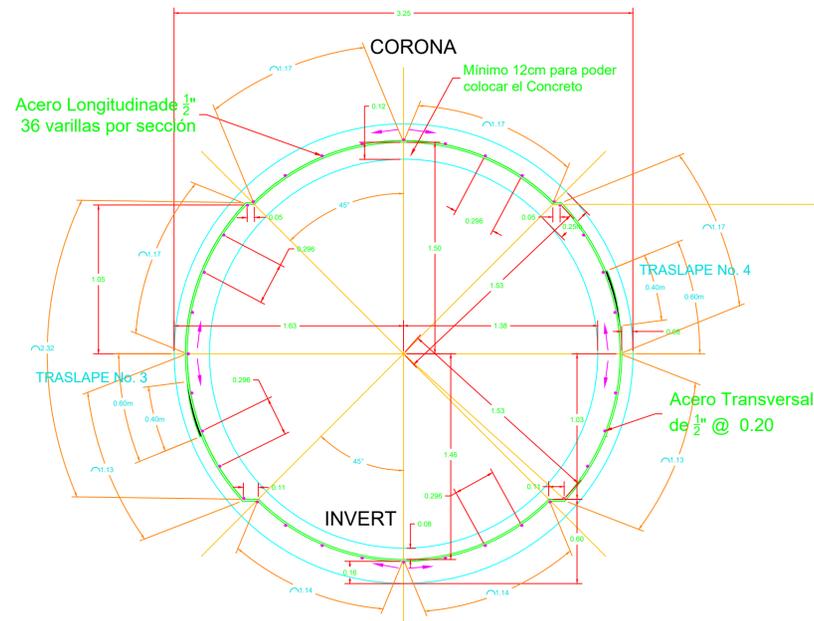
LOS TRASLAPES VAN ALTERNADOS CON EL ARMADO QUE SE INDICA EN EL DETALLE DE ARMADO No. 2, REPITIENDOSE EL CICLO PARA EVITAR QUE LOS TRASLAPES DE ACERO QUEDEN EN LA MISMA POSICION

NOTAS:

* LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE VARILLAS LONGITUDINALES SE MEDIRAN A LO LARGO DEL ACERO TRANSVERSAL A PARTIR DE LOS EJES PRINCIPALES X, Y EN DIRECCION RADIAL HACIA LOS CAMBIOS ENTRE EL ARMADO A TENSION DEJANDO UN PEQUEÑO AJUSTE EN DISTANCIA EN EL ULTIMO TRAMO EN ESTE PUNTO.

* LAS MEDIDAS DE LOS ARCOS DE CIRCUNFERENCIA DEL ARMADO ESTAN DE CENTRO A CENTRO DE CADA DOBLEZ

ARMADO DE COLECTOR DE SECCION PEQUEÑA
DE PORTAL DE TUNEL A PV3



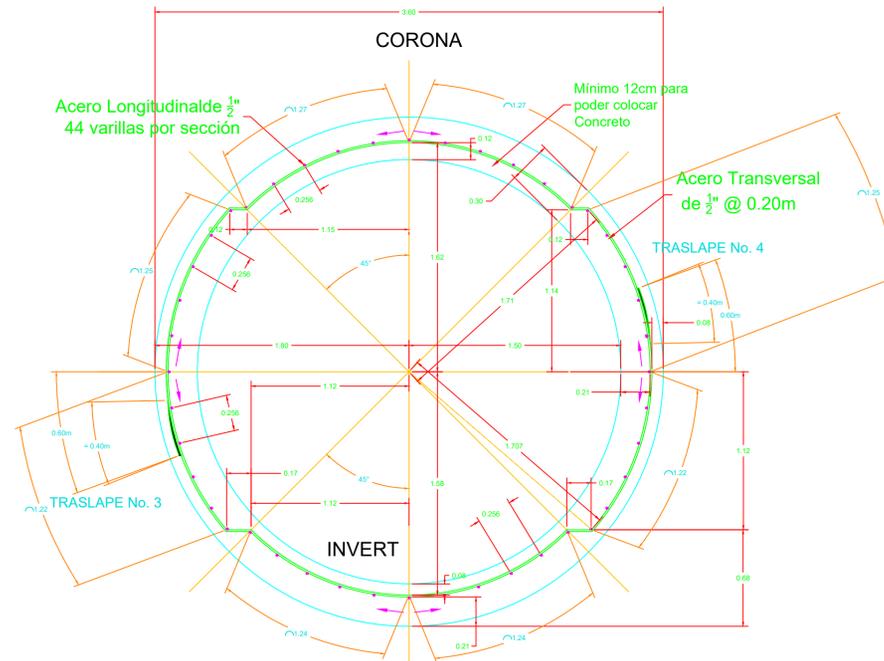
DETALLE DE ARMADO No 2 (TRASLAPES)

LOS TRASLAPES VAN ALTERNADOS CON EL ARMADO QUE SE INDICA EN EL DETALLE DE ARMADO No. 1, REPITIENDOSE EL CICLO PARA EVITAR QUE LOS TRASLAPES DE ACERO QUEDEN EN LA MISMA POSICION

* LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE VARILLAS LONGITUDINALES SE MEDIRAN A LO LARGO DEL ACERO TRANSVERSAL A PARTIR DE LOS EJES PRINCIPALES X, Y EN DIRECCION RADIAL HACIA LOS CAMBIOS ENTRE EL ARMADO A TENSION DEJANDO UN PEQUEÑO AJUSTE EN DISTANCIA EN EL ULTIMO TRAMO EN ESTE PUNTO.

* LAS MEDIDAS DE LOS ARCOS DE CIRCUNFERENCIA DEL ARMADO ESTAN DE CENTRO A CENTRO DE CADA DOBLEZ

ARMADO DE COLECTOR DE SECCION GRANDE
DE PV3 A DESCARGA



DETALLE DE ARMADO No 2 (TRASLAPES)

LOS TRASLAPES VAN ALTERNADOS CON EL ARMADO QUE SE INDICA EN EL DETALLE DE ARMADO No. 1, REPITIENDOSE EL CICLO PARA EVITAR QUE LOS TRASLAPES DE ACERO QUEDEN EN LA MISMA POSICION

NOTAS:

* LOS ESPACIAMIENTOS ENTRE VARILLAS LONGITUDINALES SE MEDIRAN A LO LARGO DEL ACERO TRANSVERSAL A PARTIR DE LOS EJES PRINCIPALES X, Y EN DIRECCION RADIAL HACIA LOS CAMBIOS ENTRE EL ARMADO A TENSION DEJANDO UN PEQUEÑO AJUSTE EN DISTANCIA EN EL ULTIMO TRAMO EN ESTE PUNTO.

* LAS MEDIDAS DE LOS ARCOS DE CIRCUNFERENCIA DEL ARMADO ESTAN DE CENTRO A CENTRO DE CADA DOBLEZ

		EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA		DIRECCION DE PLANIFICACION		DEPARTAMENTO DE DISEÑO DE ALCANTARILLADO	
		PROYECTO: MEJORAMIENTO CAMPUS UNIVERSITARIO SISTEMA DE ALCANTARILLADO, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA ZONA 12, GUATEMALA, GUATEMALA		ZONA: 12			
TOPOGRAFIA: -----	DOCUMENTO No.:	PROY	DEF	EXP	FECHA:	ENERO 2021	
DISEÑO: EMPAGUA	DIRECCION/UNIDAD REMITENTE:		ESCALA:		1/250		
CAD: -----	SUB-PROYECTO: PLANO DE ARMADO COLECTOR EN CONSTRUCCION DE SECCION PEQUEÑA Y SECCION GRANDE		HOJA:		9/9		
REVISO: EMPAGUA	UNIDAD DE DISEÑO:		No.:		FECHA:		
No. 80		EMPAGUA		DISPONIBLE:			