



Universidad
LATINA

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

UNIVERSIDAD LATINA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto de Graduación

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE
DRENAJE Y SUPERFICIE DE RUEDO EN EL CAMINO DE CALLE
POTRERILLOS (4-07-029), BELÉN.**

Laura Méndez Mesén

Heredia, 11 de mayo de 2017



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "Propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje y superficie de ruedo en el camino de Calle Potrerillos (4-07-029), Belén", presentado por la estudiante: Laura Alejandra Méndez Mesén, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

ING. YÉSSICA HERNÁNDEZ DELGADO

TUTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

LECTOR

ING. ERICK G. CRUZ PADILLA

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. YÉSSICA HERNÁNDEZ DELGADO

TUTOR

ING. JOSÉ MARÍA ULATE ZÁRATE

LECTOR

ING. ERICK G. CRUZ PADILLA

REPRESENTANTE DE RECTORÍA



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 11 de Mayo, de 2017

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación

SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título Propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje en el camino de Calle Potrerillo (4-07-029), Belén por parte del estudiante: Laura Alejandra Méndez Mesén, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Yessica Hernández Delgado



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD (PROYECTO DE
GRADUACIÓN)**

Heredia, 11 de Mayo, de 2017

Sres.

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título Propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje en el camino de Calle Potrerillo (4-07-029), Belén por parte del estudiante: Laura Alejandra Méndez Mesén, como requisito para que el citado estudiante puedan optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

José María Ulate Zarate

Heredia, 16 de mayo de 2017

Universidad Latina de Costa Rica

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela de Ingeniería Civil

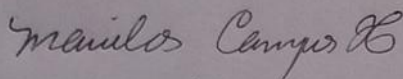
Comité de Trabajos Finales de Graduación

Estimados señores:

He revisado el Trabajo Final de Graduación bajo el título:
Realizado por la estudiante Laura Méndez Mesén, cédula de identidad 4 214 688, como
requisito para optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Revisé el texto en lo relativo a la ortografía y puntuación, riqueza, propiedad y precisión
léxicas, adecuación morfosintáctica, construcción de los párrafos, uso de conectores, cohesión.
En este sentido, una vez incorporadas las recomendaciones efectuadas en el escrito, el
documento está listo para su presentación ante las autoridades pertinentes.

Cordialmente,



Lic. María de los Ángeles Campos Hernández

Cédula 4 109 645

Miembro de la Asociación Costarricense de Filólogos, ACFIL, carné 088

Colegio de Licenciados y Profesores, carné 4242

Teléfonos 22 62 8163 83 46 51 06

Marie.campos@hotmail.com



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Méndez Mesén, Laura Alejandra

De la Carrera / Programa: Licenciatura en Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Proyecto Final de Graduación
titulado:

Propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje y superficie de ruedo en el camino de Calle Potrerillo (4-07-029), Belén.

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 11 del mes mayo del año 2017 a las 15:00. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

Agradecimientos

Le doy gracias a mis padres Álvaro Méndez Méndez y Alejandra Mesen Ramírez, por darme su apoyo incondicional en todo momento y por darme la oportunidad de alcanzar esta meta en mi vida. Agradezco también a mis hermanos Marian Méndez y Álvaro Méndez, por todo su afecto y apoyo en estos años y los que han de venir.

A mis profesores universitarios es agradezco su esfuerzo y dedicación para formar a personas como yo durante el trayecto de la carrera, para convertirnos en buenos profesionales.

También el resto de personas que me han dado su apoyo y ánimos para seguir adelante, les agradezco de todo corazón.

Dedicatorias

Dedico éste Proyecto Final de Graduación a mis padres, mis hermanos y familiares, cuyo apoyo fue imprescindible para alcanzar esta meta.

Se lo dedico muy especialmente a mi abuelo Gerardo Alfredo Mesén Contreras, que siempre ha apoyado a sus hijos y nietos y que ha sido y será una gran inspiración para mi persona.

Resumen

El siguiente proyecto tiene como objetivo desarrollar una propuesta de diseño para el mejoramiento del alcantarillado pluvial del camino pavimentado Calle Potrerillo, ubicado en el cantón de Belén. La realización de este diseño se justifica a razón de que actualmente la carretera sufre de problemas de inundaciones durante la época lluviosa, y la Municipalidad de Belén se encuentra en la búsqueda de soluciones para esta situación.

Las áreas de ingeniería abarcadas en el proyecto corresponden a topografía, hidrología e hidráulica. La bibliografía relacionada con hidrología e hidráulica de canales, softwares como Google Earth y CivilCAD, e información de campo fueron algunas herramientas utilizadas para desarrollar la propuesta de diseño.

Como resultado, se obtuvo una propuesta de diseño con una nueva configuración de los diferentes elementos del alcantarillado; con nuevas ubicaciones, profundidades y diámetros de tubería, que puede ser útil para reducir las inundaciones en épocas de lluvias.

Se concluye que el tramo donde existe sistema de alcantarillado no tiene la capacidad de trasegar adecuadamente el caudal máximo de diseño, y se debe construir el alcantarillado en las zonas donde no se dispone de este. Se recomienda a la Municipalidad de Belén invertir lo más pronto posible en la construcción del nuevo sistema de drenaje, ya sea con esta propuesta u otra diferente.

Palabras claves: Alcantarillado pluvial, ingeniería, hidrología, hidráulica de canales, propuesta de diseño.

Abstract

The following project aims to develop a proposed design for the improvement of the rainwater drainage for the paved road CallePotrerillo at canton of Belén. The realization of this design is justified because the road currently suffers from flood problems during the rainy season, and the Municipality of Belén is searching some solutions for this situation.

The engineering areas covered in this project correspond to topography, hydrology and hydraulics. The bibliography related to hydrology and canal hydraulics, software like Google Earth and CivilCAD, information gathering field were some tools used to develop the proposed design.

As a result, a proposed design was obtained with a new configuration for the different elements of the sewer system; with new locations, Depths and pipe diameters, which can be useful to reduce flooding in the rainy season.

It is concluded that the section where there is a sewer system does not have the capacity to adequately retract the maximum design flow, and the sewer system must be built in areas where it is not available. It is recommended that the Municipality of Belén invest as soon as possible in the construction of the new drainage system, either with this proposal or another different.

Keywords: rainwater drainage, engineering, hydrology, canal hydraulics, proposed design.

Contenido

Introducción	10
Antecedentes	10
Planteamiento del problema de investigación	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	11
Justificación.....	11
Alcances.....	11
Limitaciones	12
Capítulo I: Teoría del proyecto.....	13
1.1 Situación actual del proyecto	13
1.2 Conceptos y teoría a utilizar	14
1.2.1 El transporte por carretera.....	14
1.2.2 Clasificación de las carreteras por su función	15
1.2.3 Componentes elementales de una carretera.....	16
1.2.4 Actividades relacionadas con las carreteras.....	18
1.2.5 Drenaje de la carretera	21
1.2.5.1 Investigaciones necesarias para el drenaje	21
1.2.5.2 Estudios necesarios para el drenaje	22
Estudios topográficos	22
Estudios geológicos.....	22
Estudios geohidrológicos.....	22
Estudio de suelos	23
1.2.5.3 Drenaje superficial	23
Tragantes o bocas de alcantarillas.....	23
Colectores de agua de lluvia	24
Canales abiertos.....	24
Elementos geométricos de una sección	26
Distribución de velocidades.....	27
Coeficientes de distribución de velocidad.....	28
Distribución de la presión en la sección de un canal.....	28
Efecto de la pendiente en la distribución de presiones.....	29
Flujo uniforme en tuberías.....	31
Cálculo y Aplicaciones del Flujo Crítico.....	36
Alcantarillas	37

1.2.5.4 Drenaje subsuperficial.....	38
1.2.5.5 Frecuencia de tormentas y escurrimiento	40
Determinación del escurrimiento	40
1.2.5.6 Período de retorno	41
1.2.5.7 Precipitación pluvial y escurrimiento	42
1.2.5.8 Análisis estadístico del escurrimiento	42
Distribución Pearsoniana tipo III.....	43
Distribución de Gumbel	44
1.2.5.9 Estimaciones racionales del escurrimiento a partir de la precipitación pluvial.....	44
El hidrógrafo unitario	44
Ecuaciones para el flujo de crecientes	45
1.2.5.10 Estimación de la escorrentía a través de los datos de lluvia: El método racional.....	46
Área de drenaje	47
Intensidad de lluvia.....	47
Estimación de la intensidad máxima	47
Curvas intensidad-duración- tiempo de retorno.....	49
Tiempo de concentración	53
1.2.5.11 Reglamento de Normas Técnicas de Acueductos y Alcantarillados.....	61
Diseño del alcantarillado Pluvial	61
Construcción del alcantarillado Pluvial	62
Materiales para el alcantarillado pluvial.....	63
1.2.5.12 Las secciones: Diseño Hidráulico	64
1.2.6 Programas informáticos.....	68
1.2.6.1 Google Earth	68
1.2.6.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS).....	72
Capítulo II: Metodología del proyecto	73
2.1 Teoría y conceptos básicos.....	73
2.1.1 Fuentes de información	73
2.2 Técnicas para la recopilación de datos	74
2.3 Instrumentos para la recopilación de datos.....	74
2.4 Técnicas e Instrumentos para el análisis de datos.....	74
2.4.1 Referenciación Geográfica	75
2.4.2 La cuenca hidrográfica	76

2.4.3 Estimación de los caudales de diseño	81
2.4.3.1 El área tributaria	81
2.4.3.2 Coeficiente de escorrentía	85
2.4.3.3 Intensidad de lluvia	86
2.4.4 Planta y Perfil del tramo a analizar	87
2.4.5 Ubicación de los elementos del sistema de drenaje	88
2.4.6 Diseño hidráulico de las secciones	89
Capítulo III Análisis de los Resultados	91
1. Caudal máximo de diseño	91
1.1 Área tributaria	91
1.2 Coeficiente de escorrentía	92
1.3 Tiempo de concentración del drenaje	93
1.4 Intensidad de lluvia	94
1.5 Caudales de diseño	94
2. Inspecciones realizadas en el tramo a analizar	95
3. Información del levantamiento topográfico	97
4. Propuesta de diseño para el alcantarillado pluvial	101
4.1 Propuesta de ubicación de los tragantes	101
4.2 Propuesta de ubicación de los pozos de registro	102
5. Diámetros de tubería	104
5.1 Tuberías que unen tragantes con pozos	104
5.2 Tuberías que unen los pozos de registro	105
5.3 Cordón y caño	109
Capítulo IV: Propuesta	116
1. Calculo del caudal máximo de diseño	116
2. Calculo del diámetro de las tuberías	117
2.1 Tuberías que unen los tragantes con los pozos	117
2.2 Tuberías que unen los diferentes pozos de registro	121
2.3 Tuberías del caño circular	125
Conclusiones y Recomendaciones	130
a. Conclusiones	130
b. Recomendaciones	133
Referencias Bibliográficas	135

Lista de Figuras y Tablas

Figura 1. Ubicación del proyecto	14
Figura 2. Planta del camino.	17
Figura 3. Alzado del camino	17
Figura 4. Dispositivos avanzados de control de circulación.....	20
Figura 5. Elementos geométricos de la sección de un canal.	26
Figura 6. Distribución de presiones en un flujo paralelo en canales de pendiente alta	30
Figura 7. Distribución de presiones en flujo curvilíneo en canales de pendiente alta	31
Figura 8 . Pendientes: línea de energía, línea piezométrica y fondo del canal	32
Figura 9. Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección).....	32
Figura 10. Mecánica de fluidos	33
Figura 11. . Diámetros de tubería para diferentes materiales y velocidades máximas	38
Figura 12. Drenaje subsuperficial	39
Figura 13. Drenes laterales.....	39
Figura 14. Detalle de un desagüe inferior	40
Figura 15. Intensidad de lluvia máxima con duración de 1hr	48
Figura 16. Curvas estándar I-D-F para Costa Rica.....	49
Figura 17. Intensidades máximas anuales para Alajuela.....	51
Figura 18. Intensidades máximas anuales para Liberia.....	51
Figura 19. Intensidades máximas anuales para Limón.....	52
Figura 20. Intensidades máximas anuales para San José.....	52
Figura 21. Intensidades máximas anuales para Cartago.....	53
Figura 22. Intensidades máximas anuales para Puntarenas	53
Figura 23. . Coeficientes de escorrentía	60
Figura 24. Coeficiente de escorrentía para diferentes áreas	60
Figura 25. Coeficiente de escorrentía para varias superficies.	61
Figura 26. Tipos de tubería para alcantarillado Pluvial	63
Figura 27. Secciones geométricas variables	64
Figura 28. Coeficientes de rugosidad de Manning.....	66
Figura 29. Comando Buscar	69
Figura 30. Objetos posibles de colocar.....	70

Figura 31. Modificación de propiedades	70
Figura 32. Herramientas de CivilCAD	71
Figura 33. . Ejes de coordenadas geográficas.....	75
Figura 34. Caudales máximos del río Virilla.....	81
Figura 35. Figura 34. Trazado del perímetro de la zona	82
Figura 36. Serie de puntos importados de Google Earth.....	83
Figura 37. Poligonal cerrada.....	83
Figura 38. Malla Topográfica	84
Figura 39. Curvas de nivel.....	84
Figura 40. . Dirección del escurrimiento.....	85
Figura 41. Trazado en planta del proyecto	87
Figura 42. Perfil del terreno	88
Figura 43. Área tributaria	92
Figura 44. Perfil del terreno	97
Figura 45. Dimensiones del cabezal.....	127
Tabla 1. Coeficientes de rugosidad	35
Tabla 2. Valores del coeficiente de escurrimiento	58
Tabla 3. Coeficiente C para zonas urbanas.....	59
Tabla 5. Topografía de la zona	76
Tabla 6. Áreas y tipos de cobertura actuales.....	91
Tabla 7. Áreas y tipos de coberturas proyectados.....	91
Tabla 8. Cálculo de C ponderado actual.....	93
Tabla 9. Cálculo de C ponderado proyectado.....	93
Tabla 10. Tiempo de concentración del drenaje	93
Tabla 11. Intensidades de lluvia máxima obtenidas	94
Tabla 12. Caudales máximos de diseño actuales.....	94
Tabla 13. Caudales máximos de diseño proyectados	95
Tabla 14. Observaciones generales de los elementos del alcantarillado	96
Tabla 15. . Elevaciones y pendientes propuestas.....	98
Tabla 16. Tragantes a colocar (situación actual y futura)	102
Tabla 17. Diámetros de tuberías (actuales y proyectadas).....	104
Tabla 18. Diámetros de tubería para los pozos de registro	105
Tabla 19. Diámetros de entrada y salida de los pozos	106
Tabla 20. Diámetros de entrada y salida de los pozos	107

Tabla 21. Diámetros de entrada y salida de los pozos	108
Tabla 22. Diámetros de entrada y salida de los pozos	109
Tabla 23. Diámetro de tubería del caño circular	110
Tabla 24. Caudal acumulado en los pozos (T=10 y 15).....	111
Tabla 25. Caudal acumulado en los pozos (T=25 y 50).....	111
Tabla 26. Caudales aportados al río Virilla	112
Tabla 27. Profundidades promedio de tragantes y pozos.....	113
Tabla 28. Metros lineales de tubería a colocar	113
Tabla 29. Longitud total de tubería por diámetro	114
Tabla 30. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías tragante-pozo ..	114
Tabla 31. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías pozo-pozo	115
Tabla 32. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías de caño circular	115
Tabla 33. Cálculo de la intensidad de lluvia máxima	116
Tabla 34. Caudales máximos de diseño actuales.....	116
Tabla 35. Caudales de máximos de diseño futuros	116
Tabla 36. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)	117
Tabla 37. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura).....	118
Tabla 38. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)	118
Tabla 39. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura).....	119
Tabla 40. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)	119
Tabla 41. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura).....	120
Tabla 42. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)	120
Tabla 43. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura).....	121
Tabla 44. Tuberías pozo-pozo (situación actual)	121
Tabla 45. Tuberías pozo-pozo (situación futura)	122
Tabla 46. Tuberías pozo-pozo (situación actual)	122
Tabla 47. Tuberías pozo-pozo (situación futura)	123
Tabla 48. Tuberías pozo-pozo (situación actual)	123
Tabla 49. Tuberías pozo-pozo (situación futura)	124
Tabla 50. Tuberías pozo-pozo (situación actual)	124
Tabla 51. Tuberías pozo-pozo (situación futura)	125
Tabla 52. Tuberías del cordón y caño	125
Tabla 53. Parámetros de diseño para la sección de caño al lado izquierdo ..	126
Tabla 54. Parámetros de diseño para la sección de caño al lado derecho....	126
Tabla 55. Cabezales de alcantarilla de concreto	126

Tabla 56. Cajas de Registro	127
Tabla 57. Cantidad de concreto para la entrada de los tragantes	128
Tabla 58. Materiales para cada tragante	128
Tabla 59. Cantidad de concreto para los pozos.....	129

Introducción

Antecedentes

El diseño y construcción de carreteras ha sido durante los siglos XX y XXI principalmente, una rama muy importante y compleja de la Ingeniería Civil. Las investigaciones acerca de este tema han avanzado mucho durante los últimos años, sobre todo en el diseño de pavimentos. Sin embargo, en Costa Rica el tema de carreteras no ha sido fortalecido, por diferentes razones que no corresponde tratar en este proyecto, por lo tanto, muchos caminos en este país han sufrido por malos diseños o pobre mantenimiento, y se encuentran en estos momentos dañados y casi inutilizables.

Tal es el caso de Calle Potrerillo, ubicada en el cantón de Belén, que ha sufrido muchos daños por el paso del tiempo y el desgaste que le causa el paso de los vehículos pesados. Por esta razón, el realizar este proyecto tiene como objetivo principal presentar una propuesta de mejoramiento para esta carretera que es una vía importante que conecta, principalmente las ciudades de San Antonio, San Rafael de Alajuela y Lindora.

La Municipalidad de Belén ha solicitado realizar una propuesta para el mejoramiento del sistema de alcantarillado pluvial y superficie de ruedo de la carretera. Con este proyecto, se pretende abarcar el diseño del alcantarillado y el diseño de la superficie de ruedo lo contratarán por otro medio.

Planteamiento del problema de investigación

¿Cómo se puede obtener una propuesta para el mejoramiento de la estructura de drenaje pluvial en el camino Calle Potrerillo?

Objetivo General

Realizar una propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje de Calle Potrerillo en Belén por medio del método racional y el Reglamento de Normas Técnicas del AyA.

Objetivos Específicos

1. Determinar las variables necesarias para realizar el análisis hidráulico del drenaje, tales como el tiempo de concentración del drenaje, intensidad de lluvia, área tributaria, coeficiente de escorrentía, y el caudal de diseño.
2. Proponer nuevas ubicaciones para los elementos de la estructura de drenaje que cumplan lo estipulado en el reglamento de Acueductos y Alcantarillados.
3. Realizar un diseño por medio de la ecuación de Manning, que incluya los diámetros de las tuberías de concreto de manera que cumplan los parámetros de caudal, velocidad y fuerza tractiva reglamentarios.

Justificación

Este proyecto va a satisfacer las necesidades que está requiriendo el camino de Calle Potrerillo, y los problemas de inundaciones que afectan el tráfico que actualmente circula por la zona. Es menester recordar que un camino pavimentado, muchas veces, representa el estado socioeconómico de las ciudades que interconecta, indiferentemente si es un camino de ruta nacional o si es a nivel cantonal.

Debido a que la zona de Calle Potrerillo se encuentra en estos momentos en un estado de crecimiento y desarrollo urbano y comercial, es de interés para todos los comercios, industrias, y urbanizaciones aledañas el poseer una carretera que se encuentre en condiciones óptimas.

Alcances

- Se va a desarrollar una propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de alcantarillado pluvial de Calle Potrerillo que sea útil y se adapte a las necesidades del cliente.
- El diseño se desarrollará a partir de nuevas localizaciones de tragantes y pozos. Además, la propuesta se adaptará únicamente para ejecutar el mejoramiento a base de tuberías.

Limitaciones

- El caudal de diseño estimado solamente contempla la escorrentía proveniente de la precipitación.
- Las propuestas únicamente consideran el caudal de lluvia que tributa al tramo propuesto, no se incluirán los caudales de zonas anteriores o posteriores.
- Solamente se cuenta con un levantamiento topográfico proporcionado por la Municipalidad de Belén, realizado desde el estacionamiento 0+000 hasta el 0+640. Las curvas de nivel y el resto de la información topográfica deberán obtenerse por medio de software como CivilCAD y Google Earth.

Capítulo I: Teoría del proyecto

1.1 Situación actual del proyecto

La Municipalidad del cantón de Belén en Heredia es una institución autónoma territorial que promueve el desarrollo integral y equitativo, con el propósito de contribuir al bienestar de sus habitantes. Esta institución se encarga de realizar y gestionar proyectos que ayuden a mejorar la calidad de vida de todas las personas que viven en el cantón de Belén de una forma eficiente, innovadora y oportuna.

La Municipalidad de Belén se encuentra en el distrito de San Antonio y labora desde el año 1915. El cantón de Belén tiene una población aproximada de 22.530 habitantes y un área territorial de 11.81 km², divididos en 3 distritos: San Antonio, La Ribera y La Asunción.

En general, este cantón ha destacado por tener uno de los crecimientos en el desarrollo de infraestructura más grandes en la provincia de Heredia. El cantón cuenta con casi 74 km de carretera pavimentada, 2 km de carretera de lastre y además, cuenta con buena infraestructura de alcantarillado pluvial.

La función principal de cualquier red de carreteras es permitir el paso de los diferentes vehículos para que puedan llegar de un origen a un destino de una forma segura y confortable, es decir, que al conducir a través de la carretera no exista ninguna clase de obstáculos que puedan resultar molestos o peligrosos.

Calle Potrerillo se encuentra geográficamente en la provincia de Heredia, cantón de Belén, distrito de San Antonio, se extiende desde la estación 0+000.00, en el entronque con la Ruta nacional 147, y finaliza en la estación 1+290.00. Se pretende intervenir en aproximadamente 1,120 km desde la estación 0+000.00 para el mejoramiento del sistema de alcantarillado pluvial.

El camino de Calle Potrerillo, actualmente, se encuentra afectado por discontinuidades en su estructura de pavimento y de drenaje. Al no poseer un sistema que distribuya las aguas pluviales adecuadamente, el resto de elementos como las capas del pavimento, que son propensas a debilitarse ante cambios en los porcentajes de humedad, pierden resistencia y comienzan a hacerse evidentes tipos de fallas estructurales como socavamientos y fisuras.

El gobierno local estima que es de suma importancia mejorar el sistema de drenaje, reacondicionando el cordón de caño existente o colocarlo nuevo si es necesario y reubicar los tragantes.

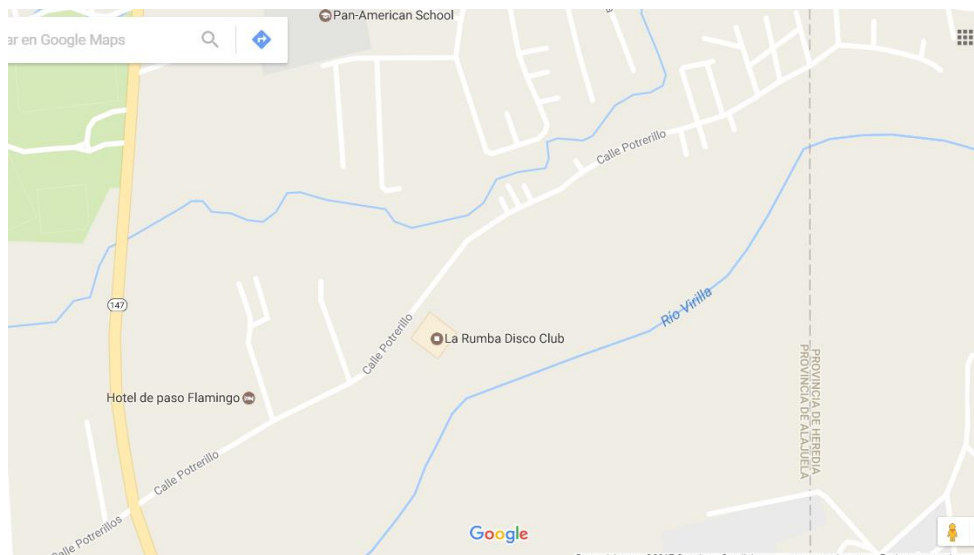


Figura 1. Ubicación del proyecto

Fuente: Google Maps, 2017

1.2 Conceptos y teoría a utilizar

1.2.1 El transporte por carretera

Actualmente, el modo predominante en que se transportan personas y mercancía en todo el mundo es por las carreteras, y en los últimos años, la necesidad de construir caminos pavimentados ha aumentado considerablemente. Es una situación que sigue evolucionando conforme cambia el ritmo de vida de los seres humanos. Por ejemplo, antes del siglo XX las personas se transportaban en caballo o carruajes tirados por estos mismos

animales, los caminos eran construidos con grava, ladrillo de barro y otros materiales. Al inventarse el automóvil se requirió inventar un nuevo tipo de pavimento para conducir este tipo de vehículo (Kraemer, Pardillo, Rocci, Romana Blanco & del Val, 2003).

1.2.1.1 Función de una carretera

Es un elemento de que pertenece a una red que a su vez intercomunica otras redes. Su función principal es permitir el paso de los diferentes vehículos para que puedan llegar de un origen a un destino específico. Para que la circulación del tránsito sea confortable y segura, es menester permitir el paso de los vehículos a velocidades aceptables, sin que el conducir resulte en una tarea arriesgada y tediosa (Kraemer et al, 2003).

1.2.2 Clasificación de las carreteras por su función

Las vías construidas para que los vehículos circulen se dividen en carreteras de dominio y de uso público. Además, se clasifican por su función, dependiendo del tipo de recorrido que se realiza y del área en la que se encuentran (Kraemer et al, 2003).

Según Kraemer et al (2003), algunas de estas clasificaciones son:

- a. Las calles de categoría menor cuyo único objetivo es dar acceso a unas pocas propiedades.
- b. Las carreteras locales que permiten la intercomunicación entre localidades pequeñas y carreteras más importantes. En estos casos, la cantidad de tráfico es mayormente influenciado por la población local y su función principal es la accesibilidad.
- c. Las vías que enlazan las zonas comerciales por medio de calles locales, y que dan acceso a las áreas más pequeñas de la población, en estas predomina el tráfico de distancia corta o mediana y su función es de movilidad y accesibilidad.
- d. Las principales carreteras cuya función es unir los centros de actividad más importante de la población del país. Trabaja para el tráfico de larga distancia y la función de acceso a territorios cercanos a la carretera es secundaria.

- e. Por último, las autopistas que se enfocan en el tráfico a larga distancia, de manera más rápida y segura que el resto de las carreteras. Su función es la movilidad exclusivamente, pues no permiten el acceso directamente a las zonas cercanas a la autopista.

1.2.3 Componentes elementales de una carretera

1.2.3.1 Planta y alzado

La planta de la carretera es una proyección en sentido longitudinal y está formada por varias alineaciones rectas unidas por alineaciones curvas, de diferente radio, y curvas de transición que posibilita(n) la variación gradual de la curvatura (Kraemer et al, 2003).

Por otro lado, el alzado del camino constituye una línea poligonal con vértices redondeados mediante cambios de la rasante. A los tramos con pendiente positiva se les llaman crestas o rampas, mientras que a los que poseen inclinación negativa se les denominan columpios o pendientes (Kraemer et al, 2003). Ambos conceptos se describen en las figuras 2 y 3 respectivamente.

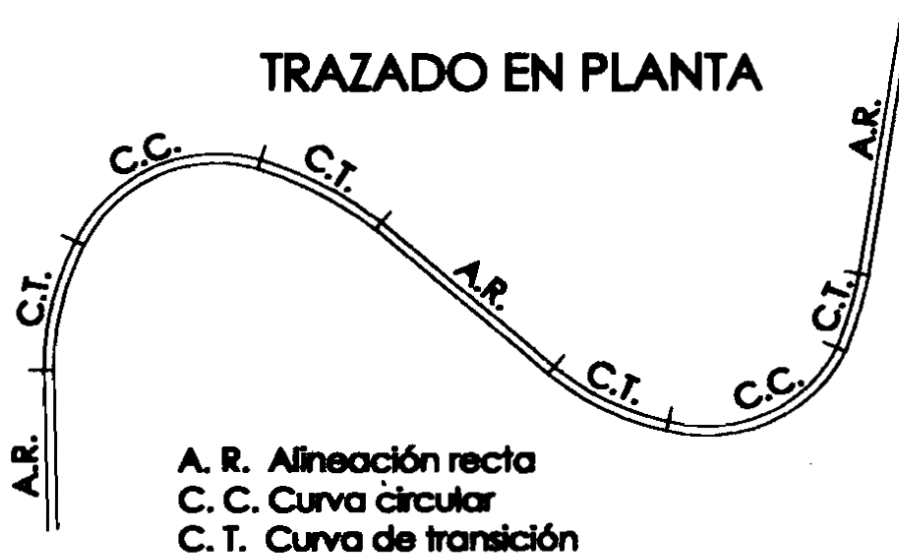


Figura 2. Planta del camino

Fuente: Kraemer et al, 2003

PERFIL LONGITUDINAL

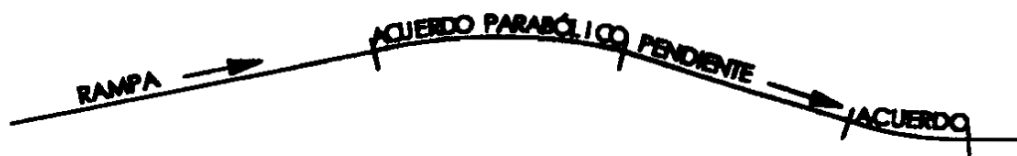


Figura 3. Alzado del camino

Fuente: Kraemer et al, 2003

1.2.3.2 Sección transversal

Según Kraemer et al (2003), generalmente la sección transversal de la carretera se integra por:

- a. Calzada: es la zona destinada para que los vehículos circulen. Está definida en franjas longitudinales, denominadas carriles, las cuales permiten el desplazamiento de una sola fila de vehículos.
- b. Arcén o espaldón: es la franja longitudinal que no tiene como finalidad la circulación de los vehículos. Se encuentra entre el borde exterior de la calzada y el borde de la plataforma y su finalidad es permitir que los vehículos se detengan brevemente, por cualquier situación que lo requiera.

- c. Berma: Es la franja longitudinal que se encuentra entre el borde exterior del espaldón pavimentado y la cuneta o el terraplén. Se utiliza para colocar señalización, iluminación, comunicaciones, barreras de seguridad, entre otros elementos secundarios.

1.2.3.3 Nudos o intersecciones

Las intersecciones se forman en los puntos críticos de una red vial y por ellas deben circular vehículos con trayectorias irregulares. En ocasiones, para evitar puntos de conflicto en la red, es necesario colocar las rutas a niveles diferentes, a esto se le denomina enlace y se representa en la Figura 3 (Kraemer et al, 2003).

La canalización de las intersecciones se realiza por medio de marcas o señalización que indiquen los movimientos permitidos, con el objeto de facilitar la circulación de los vehículos. Además, es necesario determinar la prioridad de paso de los usuarios mediante las reglas de prioridad, señales de alto y ceda, o semáforos; en el caso de zonas urbanas más transitadas (Kraemer et al, 2003).

1.2.4 Actividades relacionadas con las carreteras

1.2.4.1 Planificación de las redes de carreteras

En una región o un país, el comportamiento de las redes influye de unas a otras continuamente. Por esta razón, antes de iniciar con un proyecto de carreteras, es necesario tener información de las situaciones que probablemente se produzcan en el futuro, para que el proyecto no deje de ser funcional y no repercuta en las otras carreteras de la red (Kraemer et al, 2003).

La red de carreteras debe permitir que los vehículos circulen a través de ella de forma segura, rápida, económica y cómoda. Además de esto, se debe analizar el impacto a nivel ambiental y social. Seguidamente, de establecer estos objetivos, se procede a examinar la situación actual, con la finalidad de señalar los tramos donde no se alcanzan. Una vez determinados estos tramos, se deben proponer las posibles actuaciones necesarias para cumplir los requerimientos. Al evaluar todas las alternativas, se escoge la más

conveniente o la que se adapta mejor a las necesidades de la red (Kraemer et al, 2003).

La planificación de las redes de carreteras se debe realizar en conjunto con la planificación de otros medios de transporte, la planificación territorial y de uso de suelos y de las actividades económicas de la región (Kraemer et al, 2003).

1.2.4.2 Los proyectos de carreteras

Para realizar las actividades programadas en un plan se debe redactar un proyecto en donde se especifiquen todas las características y condiciones con las que se debe llevar a cabo, para que pueda servir como una referencia. El proyecto debe incluir, en la construcción de una carretera, lo siguiente (Kraemer et al, 2003):

- a) El trazado de la carretera, para definir su forma y el terreno que va a ocupar.
- b) Todas las estructuras necesarias para dar forma a la plataforma de la carretera.
- c) Los elementos de drenaje y desagüe.
- d) Las características del pavimento.
- e) Los elementos de señalización.
- f) Instalaciones auxiliares, tales como iluminación, comunicación, entre otras.

1.2.4.3 Conservación y mantenimiento

Algunos incidentes pueden afectar la circulación en una carretera, como un vehículo averiado, choques y otros que obstaculizan el paso de los demás usuarios. Por otro lado, los fenómenos meteorológicos, como la lluvia o la neblina reducen la capacidad de tránsito por las vías. Adicionalmente, el desgaste de la rasante por el paso constante del tráfico provoca que la carretera deba someterse a mantenimiento constante, o consecuentemente, no poseerá una condición aceptable posteriormente (Kraemer et al, 2003).

Las actuaciones de mantenimiento de la infraestructura de la carretera son de tipo constructivo, ya que intervienen en la reparación y reforzamiento de los elementos de esta. Es necesario que las actividades de

conservación se realicen con anterioridad a la aparición de daños importantes, para que no se deban tomar medidas de demolición que resultarían más costosas. Por lo tanto, también es menester mantener un control constante del estado de la vía, por medio de las observaciones que permitan detectar puntos vulnerables (Kraemer et al, 2003).

La explotación de la carretera puede incluir diversas actividades para el mejoramiento de la circulación de los vehículos, tales como la eliminación de obstáculos, toma de medidas para dar orden al tránsito, o bien, facilitar información a los usuarios acerca de la conducción por la carretera. Generalmente, este tipo de actividades no requiere intervenir en las condiciones de la infraestructura de la carretera, sino más bien en los sistemas secundarios como señalización, control del tráfico, limpieza de la estructura de pavimento, entre otras. Al igual que en las actividades de mantenimiento, es necesario incluir una constante observación de la circulación del tránsito por la carretera, esto se puede lograr instalando detectores de intensidad de tráfico, velocidad de vehículos, etc. (Kraemer et al, 2003).

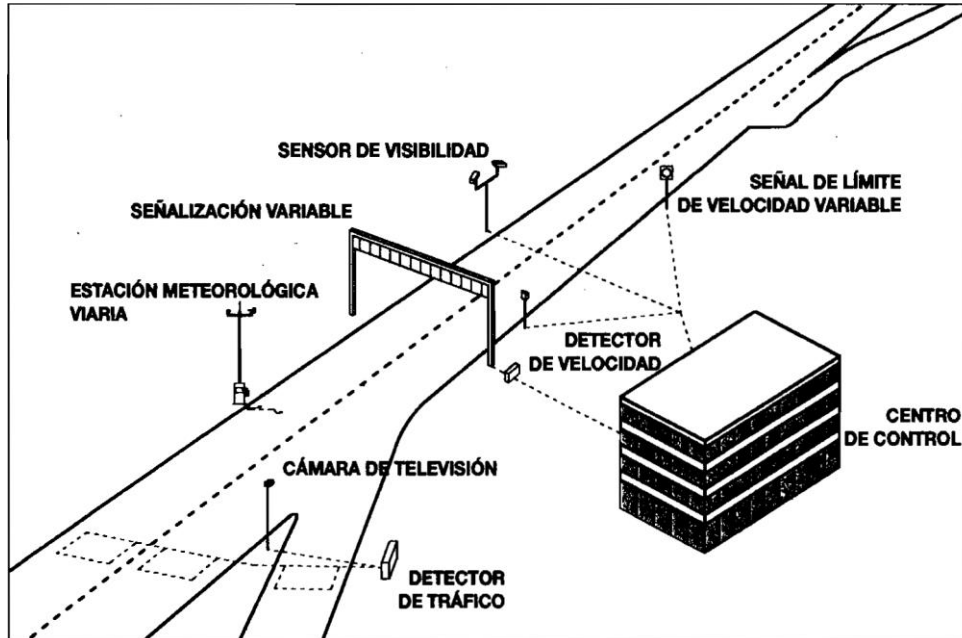


Figura 4. Dispositivos avanzados de control de circulación

Fuente: Kraemer et al, 2003

1.2.5 Drenaje de la carretera

La función principal de los sistemas de drenaje de la carretera es desviar el agua proveniente de las precipitaciones del pavimento. Es importante considerar el diseño correcto de un drenaje para una carretera. Una estructura de drenaje inadecuada provoca un incremento prematuro en los niveles de deterioro de la carretera (Merritt, Kent, Ricketts, 1999).

1.2.5.1 Investigaciones necesarias para el drenaje

Un diseñador de drenaje debe asegurarse de que sus propuestas evacuen el exceso de agua en forma adecuada y económica.

Es importante, al realizar la investigación de drenaje, conseguir responder lo siguiente (Villón, 2006):

- ¿Existe o podría llegar a existir excesos de agua?
- ¿La salida para eliminar los excesos de agua es adecuada?
- ¿De dónde provienen los excesos?
- ¿Cuánta agua debe ser drenada?
- ¿Es el suelo el más adecuado para drenar?
- ¿Qué tipo de drenaje se adapta mejor a las condiciones?

Al iniciar las investigaciones de drenaje, es importante tomar en cuenta que el primer paso a realizar debe ser la recolección y el análisis de datos sobre:

- Geología
- Suelos
- Topografía
- Pozos
- Niveles de agua y sus fluctuaciones
- Precipitación
- Flujo superficial
- Características climáticas

1.2.5.2 Estudios necesarios para el drenaje

Estudios topográficos

Los resultados del estudio topográfico tienen gran importancia en la planeación de los trabajos de diseño de drenaje.

La escala de los planos se selecciona de acuerdo con tipo y la calidad del estudio.

Para estudios generales:

- Para áreas grandes: 1:40000-1:30000
- Para áreas menores: 1:10000-1:20000

Para estudios detallados:

- 1:5000

Por otro lado, las curvas de nivel tendrán una equidistancia de 1m, pero preferiblemente deben estar a 0.5m o a 0.25m

Estudios geológicos

No es necesario que los estudios geológicos se realicen tan detalladamente. Básicamente, permiten conocer el comportamiento del fenómeno de bloqueo de flujo subterráneo, es decir, la formación de niveles freáticos altos.

El estudio geológico indicará:

- Las características de formación de la zona
- Los tipos de materiales encontrados
- Las características de la cuenca
- Los orígenes de las formaciones
- Permeabilidad de los materiales

Estudios geohidrológicos

Es importante para el estudio de drenaje comprender e interpretar correctamente los perfiles en sus primeros diez metros, debido a que los materiales que forman los estratos son transmisores de agua.

Otro factor importante que se debe conocer es la profundidad a la que se encuentra el estrato impermeable. Este parámetro es importante al calcular el espaciamiento de drenes y de la conductividad hidráulica.

Estudio de suelos

Los objetivos principales de este pilar del estudio de suelos son:

- Localizar y describir las características de las capas superiores del suelo.
- Estudiar las características del acuífero superficial.
- Estudiar las propiedades de las capas de suelo subyacentes que tienen relación en el proceso de afectación y determinación de su drenabilidad.

Otros Estudios que son requeridos para el estudio de drenaje son:

- Estudio de agua subterránea.
- Observación de los niveles freáticos piezométricos.

1.2.5.3 Drenaje superficial

La extracción del agua proveniente de la precipitación que cae directamente sobre la carretera, o de terrenos adyacentes, debe controlarse con ciertas medidas. El camino debe construirse con una determinada pendiente para drenar las aguas hacia los canales de drenaje y ser, finalmente, descargadas en un cuerpo de agua cercano. La ubicación y acondicionamiento de los canales deben ser aptas para el tráfico y capacidad para los flujos de escorrentía. Además, es necesario colocar tragantes de alcantarillas, según sea necesario para prevenir acumulaciones de agua (Merritt et al, 1999).

Tragantes o bocas de alcantarillas

Reciben la escorrentía en la rasante, permitiendo que el flujo se dirija hacia drenes subterráneos. Los tragantes deben tener la capacidad de dejar pasar las inundaciones de diseño y no deben atascarse con escombros u otro tipo de desechos. Además, deben estar protegidas por una rejilla fijada a la superficie del canal con la finalidad de que no representen ningún peligro para los conductores (Merritt et al, 1999).

La clasificación de los tragantes se puede realizar A) según su tipo de rejilla: horizontal, vertical, horizontal y vertical y B) según el diseño de la caja: con sello hidráulico, sin sello hidráulico, con desarenador y sin desarenador. El sello hidráulico se utiliza en sitios en donde existen problemas de gases en el agua transportada. El desarenador se utiliza en los casos donde se espera arrastre de arenas o grabas provenientes de zonas escasas de pavimentación (R. López, 1999).

Colectores de agua de lluvia

Son tubos subterráneos cuya función es recibir la escorrentía que cae por los tragantes y descargarlos en masas de agua lejanas a la carretera. Los colectores de agua se dimensionan de acuerdo el escurrimiento y la capacidad del tubo, que se determina por medio de las fórmulas de Manning. Los pozos de acceso deben permitir que se le dé el mantenimiento adecuado a los colectores, deben estar máximo a 120m de distancia uno de otro según el Reglamento de normas técnicas del AyA.

Canales abiertos

En una sección de carretera ubicada en un corte, se pueden utilizar cunetas laterales para captar la escorrentía, estas pueden construirse en forma trapezoidal o en V (Merritt et al, 1999).

Para evitar la erosión de la cuneta cuando los declives son muy pronunciados, se recomienda revestir el canal con pavimento bituminoso o de concreto, piedra o césped. Los revestimientos rígidos (de pavimento o concreto) son mejores para retardar la erosión, sin embargo, usualmente incrementan la velocidad del flujo del agua (Merritt et al, 1999).

El dimensionamiento de los canales depende del escurrimiento anticipado y del flujo de canal abierto que se calcula por medio de la ecuación de Manning (R. López, 1999).

$$Q = K \frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \quad (1)$$

Donde:

$$K: \text{factor gasto} = \frac{(\frac{1}{X} + Z)^{5/3}}{(\frac{1}{X} + Z * \sqrt{1 + Z^2})^{2/3}}$$

$X = D/b$

$Z = m/D$








Los canales deben diseñarse para evitar flujos supercríticos (cuando la profundidad del agua es menor que la crítica), debido a que el agua cuando fluye a alta velocidad por un canal puede generar oleaje y provocar que el agua se desborde hacia los lados. Se recomienda colocar disipadores de energía en el canal para evitar esta situación (Merritt et al, 1999).

Los canales abiertos pueden ser nombrados de diversas formas en el ambiente de la ingeniería, como “canal artificial”, “canaleta”, “caída” o “alcantarilla”. Sin embargo, aparte de la imprecisión de algunos de estos nombres, esta estructura generalmente se describe como un canal largo de pendiente poco pronunciada construido sobre el suelo, revestido o no (Castro, 2011)

Geometría de un canal abierto

Se conoce como canal prismático a aquel canal cuya sección es transversal invariable y su pendiente es constante. Los vertederos de ancho variable y alineamiento curvo son canales no prismáticos. La sección transversal de un canal se toma perpendicularmente a la dirección del flujo de agua, mientras que la sección vertical se define como la que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal (Castro, 2011).

Generalmente, los canales son diseñados con secciones geométricas regulares. En la figura 5 se muestran las más utilizadas, sin embargo, la forma trapezoidal es la más común, sin recubrimiento, debido a que proporciona más estabilidad de flujo (Castro, 2011).

Sección	Área A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Ancho superior T	Profundidad hidráulica D	Factor de la sección Z
 Rectángulo	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	by^3
 Trapezoide	$(b + ay)y$	$b + 2y\sqrt{1 + r^2}$	$\frac{(b + ay)y}{b + 2y\sqrt{1 + r^2}}$	$b + 2ay$	$\frac{(b + ay)y}{b + 2ay}$	$\frac{[(b + ay)y]^3}{\sqrt{b + 2ay}}$
 Triángulo	ay^2	$2y\sqrt{1 + r^2}$	$\frac{ay}{2\sqrt{1 + r^2}}$	$2ay$	$3y$	$\frac{\sqrt{3}}{2} ay^3$
 Círculo	$\frac{1}{4}(d - \text{sen } \theta)^2 d^2$	$\frac{1}{2}d\theta$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right) d$	$\frac{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)d}{2\sqrt{1 - \cos \theta}}$	$\frac{1}{4} \left(\frac{\theta - \text{sen } \theta}{\text{sen } \frac{1}{2}\theta}\right) d$	$\frac{\sqrt{2}}{32} \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^3}{(\text{sen } \frac{1}{2}\theta)^3} d^3$
 Parábola	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{4}{3}y^2$	$\frac{2Ty}{T + \frac{4}{3}y^2}$	$\frac{2}{3}T$	$3y$	$\frac{16}{27} \sqrt{3} Ty^3$
 Rectángulo con ángulos redondeados	$\left(\frac{x}{2} - z\right)^2 + (b + 2r)y$	$(x - 2)r + b + 2y$	$\frac{(x/2 - z)^2 + (b + 2r)y}{(x - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(x/2 - z)^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(x/2 - z)^2 + (b + 2r)y]^3}{\sqrt{b + 2r}}$
 Triángulo con fondo redondeado	$\frac{T^2}{6r} - \frac{\theta^3}{3} (1 - z \cot^3 \alpha)$	$\frac{T}{r} \sqrt{1 + r^2} - \frac{2r}{\alpha} (1 - z \cot^3 \alpha)$	$\frac{A}{P}$	$2ay - r + r\sqrt{1 + r^2}$	$\frac{A}{y}$	$A \sqrt{\frac{A}{P}}$

* Aproximación satisfactoria para el intervalo $0 < x \leq 1$, donde $x = 4y/T$. Cuando $x > 1$, use la expresión exacta.
 $P = (T/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$.

Figura 5. Elementos geométricos de la sección de un canal.

Fuente (Castro, 2011)

La forma rectangular se utiliza generalmente para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. Las secciones triangulares solamente son útiles para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. La forma circular es más común utilizarla para alcantarillas y alcantarillados de tamaños medianos y pequeños.

Elementos geométricos de una sección

Los elementos geométricos tienen gran importancia, debido a que se utilizan ampliamente en el cálculo del flujo de agua. Son propiedades de la sección del canal que pueden ser definidas completamente por la geometría de la misma (Castro, 2011).

Para secciones sencillas de canal, como la sección rectangular, estos elementos pueden ser expresados matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y otras dimensiones. Sin embargo, para las secciones más complicadas no es posible escribir una ecuación simple, mas pueden realizarse curvas para utilizar en los cálculos hidráulicos que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo (Castro, 2011).

A continuación, se definen los elementos geométricos de la sección del canal más importantes (Castro, 2011):

- La profundidad de flujo (y) se define como la distancia vertical desde el punto más bajo de la sección hasta la superficie libre. El término no debe confundirse con la profundidad de flujo de la sección (d), que es la profundidad de flujo perpendicular a la dirección del mismo, o la altura de la sección del canal que contiene el agua.
- El nivel se refiere a la elevación o distancia vertical desde un nivel de referencia hasta la superficie libre
- El ancho superficial (T), es el ancho del canal en la superficie libre.
- El área mojada (A), es el área de la sección transversal del flujo perpendicular a la dirección del flujo.
- El perímetro mojado (P) se define como la longitud de la línea de intersección de la superficie de canal mojada y de un plano transversal perpendicular a la dirección del flujo.
- El radio hidráulico (R) es la relación del área mojada con respecto al perímetro mojado respectivo. Se determina por:

$$R = \frac{A}{P} \quad (2)$$

- La profundidad hidráulica (D) es la relación entre el área mojada y el ancho superficial, se determina por:

$$D = \frac{A}{T} \quad (3)$$

- El factor de sección (Z), para el cálculo del flujo crítico, es el producto del área mojada y la raíz cuadrada de la profundidad hidráulica y se determina por:

$$Z = A\sqrt{D} \quad (4)$$

- El factor de sección para calcular el flujo uniforme se tiene por el producto del área mojada y el radio hidráulico elevado a la 2/3.

Distribución de velocidades

La distribución de velocidades en la sección de un canal no siempre se mantendrá uniforme, debido a la presencia de la superficie libre y de la fricción en las paredes del canal. También, dependerá de otros factores, como la forma de la sección, la presencia de curvas y la rugosidad del canal,

esta última provoca un incremento de la velocidad en la curva de la distribución de vertical de velocidades (Castro, 2011).

Se ha demostrado que en canales abiertos muy anchos, la distribución de velocidades en la zona central de la sección no se ve afectada por los lados del canal, y por consiguiente, el flujo en esta región, puede considerarse como bidimensional en el análisis hidráulico.

Coefficientes de distribución de velocidad

Debido a la distribución no uniforme de la velocidad en una sección, la altura de velocidad de flujo en canales abiertos, generalmente, es mayor que el valor calculado por la expresión $V^2/2g$, donde V es la velocidad media. Por esta razón, también se ve afectado el cálculo del momentum en el flujo de los canales abiertos expresado por $\beta\omega QV/g$, donde β es el coeficiente de momentum o coeficiente de Boussinesq; ω es el peso unitario del agua; Q es el caudal y V es la velocidad media.

Los coeficientes de distribución de velocidades siempre son mayores que el valor de la unidad, para el cual la distribución de velocidades es estrictamente uniforme a través de la sección. En canales de sección transversal regular, los coeficientes pueden llegar a tomarse iguales al valor de la unidad. Sin embargo, en canales de secciones complejas, pueden llegar a tener valores muy altos y pueden variar rápidamente de una sección a otra (Castro, 2011)

Distribución de la presión en la sección de un canal

La presión en cualquier punto de una sección transversal con pendiente baja puede ser medida por medio de la altura de la columna de agua en un tubo piezómetro instalado en el punto. Si no se consideran las perturbaciones debido a la turbulencia, el agua en la columna debe subir desde el punto de medición hasta la línea de gradiente hidráulico. Por lo tanto, se dice que la presión en cualquier punto de la sección es directamente proporcional a la profundidad del flujo por debajo de la superficie libre e igual a la presión hidrostática correspondiente a esta profundidad, es decir, se toma como una distribución lineal y se representa mediante una línea recta AB. Este

principio se conoce como la ley hidrostática de distribución de presiones (Castro, 2011).

Se conoce como flujo paralelo a aquel cuyas líneas de corriente no tienen curvatura sustancial ni divergencia. Consecuentemente, no existen componentes de aceleración apreciables que perturben la distribución hidrostática de presiones en la sección transversal de un flujo paralelo. En casos reales, el flujo actúa prácticamente como paralelo. También puede considerarse al flujo gradualmente variado como flujo paralelo, debido a que el cambio de profundidad de este es tan poco pronunciado que las líneas de corriente no llegan a tener una divergencia que provoque que los componentes de aceleración en el plano de la sección transversal sean considerables.

El flujo curvilíneo se da cuando las curvaturas de las líneas de corriente son sustanciales. Estas efectúan componentes de aceleración apreciables o fuerzas centrífugas perpendiculares a la dirección del flujo. Por esta razón, la distribución de presiones de la sección transversal es diferente de la hidrostática, si el flujo curvilíneo ocurre en el plano vertical.

El flujo curvilíneo puede ser convexo o cóncavo. En ambos casos, la distribución de presiones no lineal será representada por AB' . Todas las líneas de corriente se suponen horizontales en la sección bajo consideración. En el flujo cóncavo, la fuerza centrífuga apunta hacia abajo, reforzando la fuerza gravitatoria, por lo que la presión hidrostática resultante es mayor que la presión del flujo en paralelo. Contrariamente, en el flujo convexo, la fuerza centrífuga actúa hacia arriba contra la acción de la gravedad, en este caso, la presión resultante es menor.

Efecto de la pendiente en la distribución de presiones

En un canal inclinado recto, de ancho unitario y ángulo de pendiente θ , el peso del elemento de agua de longitud dL es igual a $w \cos \theta dL$. La presión debida al peso es $w y \cos^2 \theta dL$. Por consiguiente, la presión unitaria es igual a $w y \cos^2 \theta$, y la altura es:

$$h = y \cos^2 \theta \quad (5)$$

$$h = d \cos \theta \quad (6)$$

Donde d es $y \cos \theta$, la profundidad de agua medida perpendicularmente desde la superficie. La ecuación 5 no se aplica estrictamente en situaciones donde θ es muy grande, mientras que la ecuación 6 si puede aplicarse, si se da el caso. Cuando la pendiente del canal es mayor que 1 en 10, es decir, si es un canal de pendiente alta, y sus efectos son más apreciables, se debe hacer la corrección para obtener cálculos más exactos. La figura 6 muestra el efecto de la distribución de presiones en canales de pendiente alta.

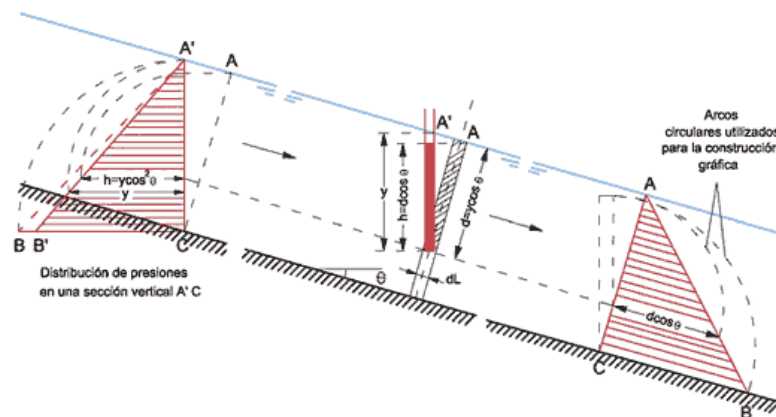


Figura 6. Distribución de presiones en un flujo paralelo en canales de pendiente alta.

Fuente: Castro, 2011

En caso de que el canal posea un perfil longitudinal con una curvatura apreciable, la altura de presión debe corregirse debido el efecto de la curva de las líneas de corriente. La altura de presión puede ser expresada como $\alpha' y \cos^2 \theta$, donde α' es el coeficiente de presión. En la figura 7 se detalla el fenómeno de flujo curvilíneo en canales de pendiente alta.

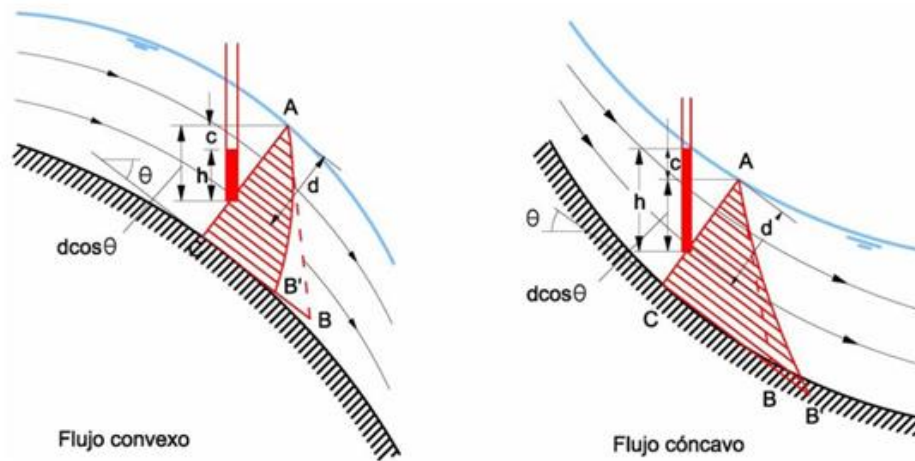


Figura 7. Distribución de presiones en flujo curvilíneo en canales de pendiente alta.

Fuente: Castro, 2011

Flujo uniforme en tuberías

Se llama flujo uniforme a aquel en el que los parámetros hidráulicos no cambian con respecto al espacio, es decir, que la profundidad, el área transversal, la velocidad y el caudal son constantes en cada sección del canal. Por esta razón, la pendiente de la línea de energía, la de la superficie libre del agua y la del fondo del canal son numéricamente iguales y por lo tanto paralelas.

Si:

S_E = pendiente de la línea de energía.

S_W = pendiente de la superficie libre de agua

S_o = pendiente del fondo del canal

Se tiene que:

$$S_E = S_W = S_o = S$$

En la figura 8 se muestran las diferentes pendientes del flujo de agua en canales y en tuberías.

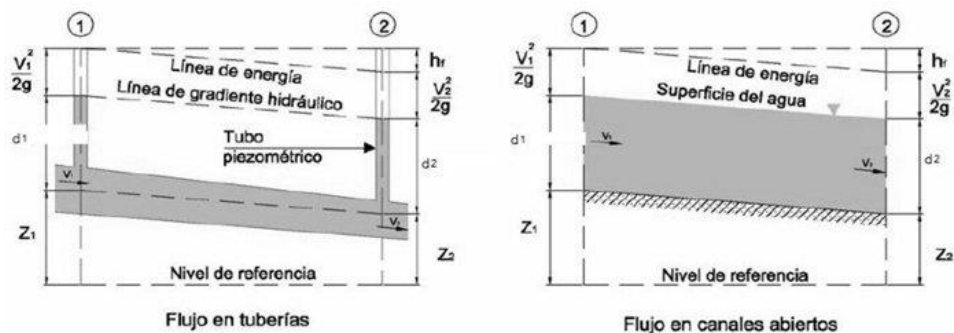


Figura 8 . Pendientes: línea de energía, línea piezométrica y fondo del canal

Fuente: Castro, 2011

Para que se desarrolle un flujo uniforme en un canal, es necesario que se cumplan ciertas condiciones, la primera de ellas es que la pendiente del canal debe ser pequeña.

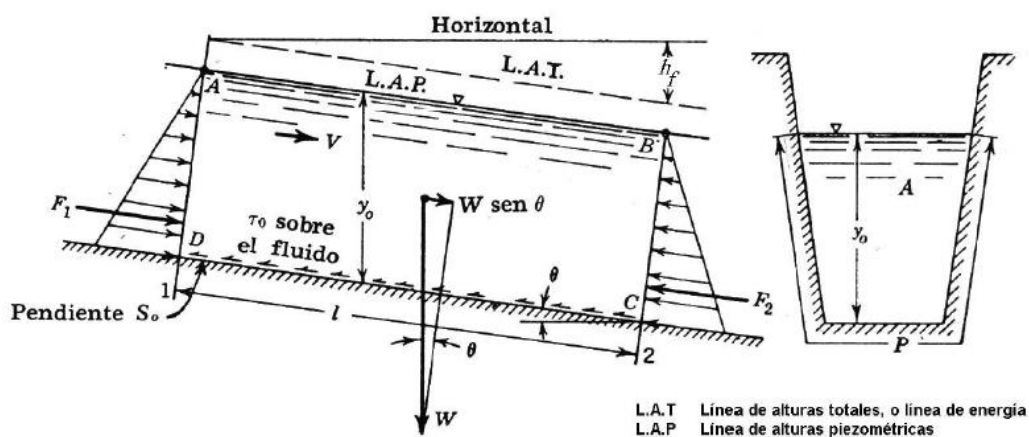


Figura 9. Tirante vertical y normal (perpendicular a la sección)

Fuente: Castro, 2011

De la Figura se tiene que:

$$\cos\alpha = d/y$$

$$y = d/ \cos\alpha \tag{7}$$

Por practicidad, se recomienda suponer al flujo uniforme como permanente. Los términos tirante normal (y_n), velocidad normal y pendiente normal se aplican al flujo uniforme permanente.

El flujo uniforme es mucho más sencillo de analizar y sus ecuaciones se utilizan para el diseño de sistemas de tuberías. Debido a que no hay aceleración en el flujo de agua, el equilibrio de fuerzas existe.

Las tres fuerzas que actúan en un flujo son la presión, las fuerzas gravitacionales y las de fricción. La presión siempre tiende a acelerar el flujo. En caso de que la pendiente sea positiva (de una cota baja a una cota alta), las fuerzas gravitacionales frenarán al flujo, mientras que si se trata de una pendiente negativa, las fuerzas lo acelerarán.

Las fuerzas de fricción siempre intentan frenar al flujo de agua. En caso de que un flujo uniforme pase a través de una tubería con pendiente negativa en sentido del flujo, existirá un equilibrio entre las fuerzas de fricción, por un lado, y las fuerzas gravitacionales y de presión por el otro.

La figura 10 representa el equilibrio dinámico que se alcanza en una tubería cuando se encuentra en estado de flujo uniforme.

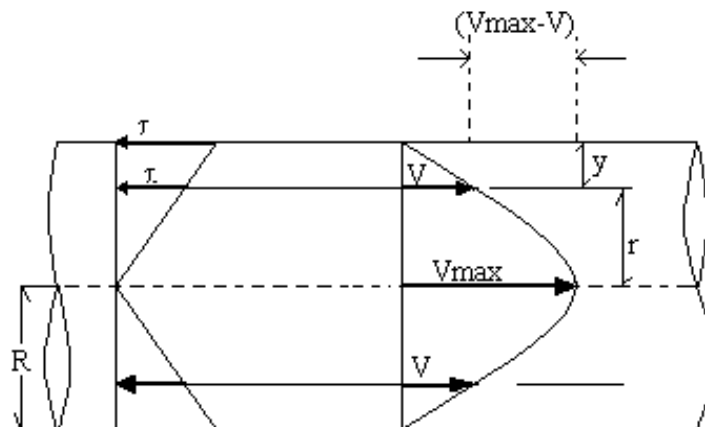


Figura 10. Mecánica de fluidos

Fuente: (Castro, 2011).

Fórmula de Manning

La utilización de esta fórmula se ha extendido en casi cualquier parte del mundo, es muy versátil y muy común utilizarla en diseños hidráulicos. Proviene de la fórmula de Chezy al considerar un coeficiente C igual a:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (8)$$

Al sustituir en la fórmula de Chezy se obtiene lo siguiente:

$$V = \frac{1}{n} R^{1/6} \sqrt{RS}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{1/6} R^{1/2} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6} + \frac{1}{2}} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{4/6} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

Y así se obtiene la fórmula de Manning, donde:

V: es la velocidad, en m/s

R: es el radio hidráulico, en m

S: es la pendiente de la línea de energía, en m/m

n: es el coeficiente de rugosidad

En la tabla 1, se muestran valores propuestos por Horton para el coeficiente de rugosidad:

Tabla 1. Coeficientes de rugosidad

Material	N
Mampostería de piedra bruta	0.020
Mampostería de piedras rectangulares	0.017
Mampostería de ladrillos, sin revestimiento	0.015
Mampostería de ladrillos revestida	0.012
Canales de concreto, terminación ordinaria	0.014
Canales de concreto, con revestimiento liso	0.012
Canales con revestimiento muy liso	0.010
Canales de tierra en buenas condiciones	0.025
Canales de tierra con plantas acuáticas	0.035
Canales irregulares y muy mal conservados	0.040
Conductos de madera cepillada	0.011
Barro (vitrificado)	0.013
Tubos de acero soldado	0.011
Tubos de concreto	0.013
Tubos de hierro fundido	0.012
Tubos de asbesto cemento	0.011

Adaptada de Castro, 2011

La fórmula de Manning en el sistema de unidades inglesa se presenta a continuación:

$$v = \frac{1,486}{n} x R^{2/3} x S^{1/2} \quad (10)$$

Donde:

V: es la velocidad, en pies/s

R: es el radio hidráulico, en pies

S: es la pendiente de la línea de energía, en pies/pies

n: es el coeficiente de rugosidad

Cálculo y Aplicaciones del Flujo Crítico

Las condiciones más importantes que caracterizan el estado de flujo crítico en un canal son:

1. Para un caudal determinado, la energía específica será mínima.
2. Para una determinada energía específica, el caudal es máximo.
3. Para un caudal determinado, la fuerza específica es mínima.
4. La altura de velocidad es igual a la mitad de la profundidad hidráulica en un canal de pendiente baja.
5. El número de Froude es igual a uno.
6. La velocidad de flujo en un canal de baja pendiente con velocidades uniformemente distribuidas, es igual a la celeridad de pequeñas ondas gravitacionales en aguas poco profundas causadas por perturbaciones locales.

Los análisis del estado crítico de flujo en canales se han requerido en una sección de este específicamente, esta se denomina como sección crítica. Si el estado crítico del flujo existe a través de la longitud completa del canal o solo en algunos tramos, entonces se dice que el flujo del canal es crítico. La profundidad del flujo crítico depende de los elementos geométricos A y D de la sección de canal, cuando el caudal es constante, por esta razón, la profundidad crítica en un canal prismático con pendiente uniforme será igual en todas las secciones y por consiguiente, el flujo crítico será uniforme. En estos casos, la pendiente se denominará pendiente crítica S_c . Si en el canal existe una pendiente menor a la crítica se producirá un flujo más lento de naturaleza subcrítica para el caudal determinado, por consiguiente, se conoce como pendiente suave o subcrítica. Al contrario, si existe una pendiente mayor a la crítica, se producirá un flujo más rápido de naturaleza supercrítica y se conoce como pendiente empinada o supercrítica.

Los pequeños cambios en la energía específica en estado crítico, o cercano a este, producirá un cambio considerable en la profundidad. Por esta razón, se dice que el flujo en estado crítico es inestable. Cuando el flujo se encuentra cerca del estado crítico, la superficie del agua aparece inestable y ondulada, debido a los pequeños cambios de energía producidos por

variaciones en la rugosidad del canal, la sección transversal, la pendiente o por depósitos de sedimentos o basura. Es necesario modificar la pendiente o la forma del canal, si el diseño posee una profundidad crítica durante una longitud apreciable, con el fin de brindarle mayor estabilidad al flujo.

Cálculo del flujo crítico

Los factores que comprende el cálculo del flujo crítico son la determinación de la profundidad crítica y la velocidad, cuando el caudal y la sección del canal son conocidos. Tres métodos utilizados para el cálculo del flujo crítico se describen a continuación:

- Método algebraico: El flujo crítico puede ser determinado mediante ecuaciones básicas, para una sección geométrica simple de canal.
- Método gráfico: Para secciones de canal más complejas, generalmente se emplea un procedimiento gráfico para el cálculo del flujo crítico.
- Método del cuadro de diseño: Para determinar la profundidad crítica puede utilizarse con rapidez el cuadro de diseño.

Alcantarillas

Es un conducto cerrado que permite el paso de la escorrentía de un canal abierto a otro. Una alcantarilla que pasa debajo de una carretera debe ser lo suficientemente resistente para soportar las cargas del tráfico que pasan sobre ella. Para determinar el tamaño y la sección de la alcantarilla, frecuentemente, se utilizan métodos empíricos. Con la experiencia, los diseñadores seleccionan tamaños pequeños a partir de normas específicas para cada tipo de proyecto que se va a construir.

El éxito del diseño hidráulico de una alcantarilla radica en lograr proveer exitosamente la capacidad de descargar una cierta cantidad de agua, dentro de los límites establecidos de velocidades y nivel de aguas (Villón, 2003).

Se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones hidráulicas al diseñar una alcantarilla:

- La pendiente de la corriente aguas arriba y aguas abajo del sitio.
- La pendiente del fondo de la alcantarilla.

- La altura permitida de ahogamiento en la entrada y el tipo de entrada.
- La rugosidad de las paredes.
- La altura del remanso de la salida.

En la figura 11, se muestran datos para la selección del diámetro de tuberías en factor de la velocidad máxima y el caudal máximo de diseño. Las velocidades máximas, como se puede observar, difieren si la transición del agua es por tierra o por concreto (Villón, 2003).

Transición de tierra $v_{\text{máx}} = 1.06$ m / s	Transición concreto $v_{\text{máx}} = 1.52$ m / s	Tuberías				
		Caudal (m^3 / s)	Caudal (m^3 / s)	Diámetro (pulg)	Diámetro (cm)	Área (m^2)
0 – 0.076	0 – 0.110			12	30.48	0.073
0.077 – 0.112	0.111 – 0.173			15	38.10	0.114
0.123 – 0.176	0.174 – 0.249			18	45.72	0.164
0.177 – 0.238	0.250 – 0.340			21	53.34	0.223
0.239 – 0.311	0.341 – 0.445			24	60.96	0.292
0.312 – 0.393	0.446 – 0.564			27	68.58	0.369
0.394 – 0.487	0.565 – 0.694			30	76.20	0.456
0.488 – 0.589	0.695 – 0.841			33	83.82	0.552
0.590 – 0.699	0.842 – 1.000			36	91.44	0.656
0.700 – 0.821	1.001 – 1.175			39	99.06	0.771
0.822 – 0.954	1.176 – 1.362			42	106.68	0.894
0.955 – 1.096	1.363 – 1.563			45	114.30	1.026
1.097 – 1.246	1.564 – 1.778			48	121.92	1.167
1.247 – 1.407	1.779 – 2.008			51	129.54	1.318
1.408 – 1.578	2.009 – 2.251			54	137.16	1.478
1.579 – 1.756	2.252 – 2.509			57	144.78	1.646
1.757 – 1.946	2.510 – 2.781			60	152.40	1.824
1.947 – 2.146				63	160.02	2.011
2.147 – 2.356				66	167.64	2.207
2.357 – 2.574				69	175.26	2.412
2.575 – 2.803				72	182.88	2.626

Figura 11. Diámetros de tubería para diferentes materiales y velocidades máximas

Fuente: Villón, 2003

1.2.5.4 Drenaje subsuperficial

El drenaje subsuperficial permite extraer el agua que se acumula en la subrasante de la carretera, y al mismo tiempo, interceptar las aguas subterráneas, antes de que fluyan a la subrasante. El diseño del sistema de

drenaje subsuperficial depende de la geometría específica, de la topografía y de las condiciones del sitio a drenar. En las figuras 12, 13 y 14 se muestran algunos métodos para colocar el drenaje subsuperficial de la subrasante (Merritt et al, 1999).

El tipo de dren de la figura 12 intercepta y corta el flujo subterráneo con el fin de impedir que se cuele a la subrasante.

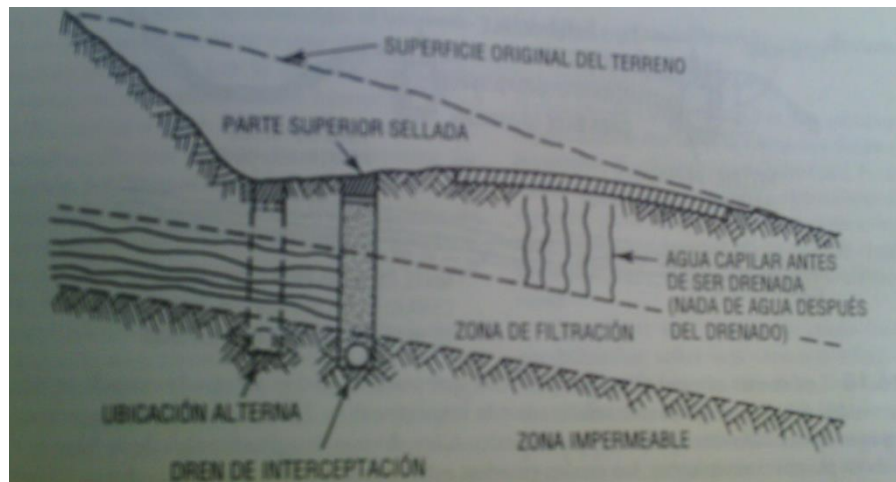


Figura 12. Drenaje subsuperficial

Fuente: Merrit, 2011

La figura 13 muestra drenes que se emplean a ambos lados del camino para captar el agua que queda atrapada cuando se tiene una base permeable.

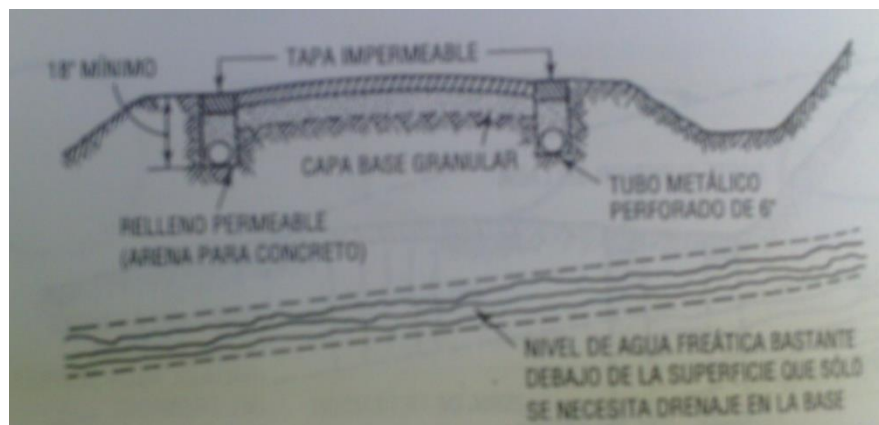


Figura 13. Drenes laterales

Fuente: Merrit, 2011

La figura 14 describe un detalle para el relleno típico de un desagüe de tubo inferior. Se excava una zanja hasta cierta profundidad, se coloca el tubo en esta y finalmente, se rellena con un material granular.



Figura 14. Detalle de un desagüe inferior

Fuente: Merrit, 2011

1.2.5.5 Frecuencia de tormentas y escurrimiento

A la posibilidad de que una intensidad de precipitación dada ocurra dentro de un intervalo de tiempo determinado se le llama frecuencia de tormenta. Su determinación se realiza por medio de datos tomados históricamente en una zona, y nos indica qué nivel de intensidad de lluvia puede ocurrir en dicha área en un periodo N de años. Los sistemas de drenaje en una carretera deben ser capaces de soportar el caudal máximo de escurrimiento de N años (Merritt et al, 1999).

Determinación del escurrimiento

El caudal de escurrimiento que se utilizará para el diseño de una estructura de drenaje de una carretera se puede determinar por medio de mediciones in situ del flujo de corriente, o por medio de fórmulas empíricas. (Merritt et al, 1999). Debido a que la primera opción lleva muchas

complicaciones, la utilización de fórmula como la del método racional ha sido el método escogido por la mayor parte de los diseñadores.

1.2.5.6 Período de retorno

Para el diseño de cualquier tipo de estructura hidráulica, es necesaria la determinación de un periodo de retorno que se define como la frecuencia o probabilidad de que ocurra un evento determinado, es decir, para el caso de alcantarillado pluvial, la lluvia máxima esperada (Gottret, Quiroz, Condarco, Nardelli, Caballero, Hurtado,..., Mendoza, 2011)

La confiabilidad del diseño es representada por la probabilidad de que la estructura no falle en el transcurso de su vida útil, y considera el hecho de que no ocurra un evento mayor al máximo esperado que se utilizó para el diseño, esto durante el periodo de vida útil de la estructura (Gottret et al, 2011).

Si un evento mayor o igual al caudal máximo de diseño llega a ocurrir una vez en T años, la probabilidad de ocurrencia P es igual a (Villón, 2006):

$$P = \frac{1}{T} \quad (11)$$

Donde:

P: es la probabilidad de ocurrencia de un caudal mayor o igual al de diseño

T: es el período de retorno

De esta misma ecuación, se puede obtener el riesgo o falla R, que se define como la probabilidad de que el evento ocurra al menos en n años sucesivos, y se representa en la siguiente fórmula (Villón, 2006):

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (12)$$

Con este parámetro, es posible la determinación de lo que implica la selección de un periodo de retorno dado para una obra que posee una vida útil de n años (Villón, 2006).

1.2.5.7 Precipitación pluvial y escurrimiento

Según Castro (2011) dentro del campo de la ingeniería sanitaria la información de principal interés, relacionada con la precipitación pluvial y el escurrimiento, dentro de un área específica corresponde a:

- 1) Los registros del agua colectados en periodos fijos de días, semanas, meses o años.
- 2) Los registros de las intensidades y duraciones de las lluvias y flujo de crecimiento individuales.

Los estudios sobre la intensidad de la precipitación pluvial y el escurrimiento de las crecientes son la base para diseñar alcantarillados pluviales y combinados, así como sus correspondientes accesorios. Otra información que suministran es:

- El dimensionamiento apropiado de vertederos y ductos divisores para presas y estructuras similares.
- La localización y protección de las obras para aguas y aguas residuales dentro del plano de inundación y corrientes.
- La determinación de las proporciones adecuadas de las obras colectoras de aguas pluviales.

Toda la información hidrológica disponible puede ser aplicada, bajo las circunstancias correctas, directamente en el lugar de la estructura por construir.

1.2.5.8 Análisis estadístico del escurrimiento

Los registros del escurrimiento máximo diario, semanal, mensual o anual forman distribuciones de frecuencia desviadas hacia la derecha, esto implica que sus medias se encuentran hacia el lado de sus modas. Los registros de este tipo pueden generalizarse burdamente como series geométricamente normales, precisamente como distribuciones Pearsonianas tipo III y de Gumbel, o gráficamente como curvas de duración parcial (Castro, 2011)

Distribución Pearsoniana tipo III

Fue postulada por Karl Pearson, se presta bien para la generalización de fenómenos hidrológicos que parecen poseer un límite inferior mayor a cero, sin poseer límite superior. Su ecuación, refiriéndose a la media como su origen, es:

$$y = y_0 \left\{ 1 + \frac{[(x-\mu)+d]}{a} \right\}^{y/a} \exp\{-\gamma[(x-\mu)+d]\} \quad (13)$$

Donde:

y = Ordenada o frecuencia del escurrimiento de magnitud especificada

y_0 = Ordenada modal o frecuencia del escurrimiento modal

x = Abscisa o magnitud del escurrimiento

a = Desviación del límite inferior en relación a la moda

d = Diferencia entre la magnitud de la moda y la de la media

μ = Magnitud de la media

σ = Desviación estándar

γ = Una medida tanto de la variabilidad como del sesgo

El límite inferior se encuentra en $[(x-\mu)+d] = -a$, siendo y cero. Por medio de métodos matemáticos directos se pueden determinar los coeficientes a , $d = \mu - \mu_0$ y γ . Sin embargo, los cálculos se simplifican considerablemente mediante una tabla de áreas.

El sesgo es igual a $(\text{media-moda})/\sigma$ y se determina por la expresión (Castro, 2011):

$$\frac{d}{\sigma} = \frac{\sum(x-\mu)^3}{2\sigma \sum(x-\mu)^2} \quad (14)$$

La determinación del sesgo para la curva tipo III de Pearson implica el cálculo de $\sum(x-\mu)^2$. La confiabilidad del parámetro de oblicuidad dependerá del número de observaciones.

La creciente máxima que puede ocurrir sobre una corriente dada es limitada por el área de drenado y la velocidad máxima a la que el agua puede ser transportada a ella. Los registros extensos sugieren un límite de una

vez cada 50 a 200 años. La incertidumbre de la estimación por extrapolación sugiere utilizar el valor 1000 años a 100000 años para estructuras mayores.

Distribución de Gumbel

Según Castro (2011) este método estadístico supone que los valores extremos de los flujos de corriente se conforman a la distribución teórica de los valores extremos de la siguiente forma:

$$F(x) = 1 - \exp[\exp(-b)] \quad (15)$$

Donde b es la variable adimensional $(x - \mu + 0.450\sigma)/0.780\sigma$, por lo que la desviación del flujo modal de la creciente anual media se aproxima al valor dado por $-0.577\sigma \sqrt{\frac{6}{\pi}} = -0.450\sigma$

1.2.5.9 Estimaciones racionales del escurrimiento a partir de la precipitación pluvial

Para estimar el escurrimiento, a partir de precipitaciones pluviales específicas, existen dos métodos de interés general; el método racional y el método del hidrógrafo unitario (Castro, 2011).

El hidrógrafo unitario

En época seca, o cuando la precipitación se encuentra congelada, el hidrógrafo residual o flujo base de un río está trazado por el agua desprendida desde el almacenamiento del suelo, en estanques, lagos, depósitos y remansos de corriente. Una vez que ha iniciado la tormenta de lluvia, la relación de descarga supera al flujo base en la cantidad en la que el escurrimiento superficial entra al sistema de drenado.

La porción del hidrógrafo que se eleva sobre el flujo base puede ser aislado de este y es una medida del escurrimiento superficial verdadero (Castro, 2011).

El método del hidrógrafo unitario parte del estudio de las propiedades geométricas sencillas de la porción del escurrimiento superficial del hidrógrafo, en relación con la lluvia efectiva que cayó en una unidad de tiempo y que ha producido escurrimiento superficial.

Dichas propiedades geométricas importantes del escurrimiento superficial son:

- La longitud de la abscisa, que mide la duración en tiempo sobre el flujo base y es constante para todas las lluvias de tiempo unitario.
- Las ordenadas secuentes, las cuales miden los gastos de descarga sobre el flujo base al final de cada unidad de tiempo, son proporcionales al escurrimiento total de las precipitaciones de tiempo unitario.
- Las relaciones de las áreas individuales a la total bajo el hidrógrafo, que miden la cantidad de agua descargada en un intervalo determinado. Son constantes para todos los hidrógrafos unitarios de la misma área de drenado. Estas relaciones de distribución, generalmente se denominan grafica de distribución.

Las anteriores propiedades no se aplican en casos donde el escurrimiento es originado por nieve o hielo fundido, o cuando la velocidad de las ondas de inundación de las corrientes cambia apreciablemente, así como los niveles de los ríos cambian debido a los flujos fluctuantes. Se debe tener en cuenta que el tiempo es un elemento importante para realizar el procedimiento y deben estar disponibles datos de la precipitación pluvial para unidades de tiempo más cortas que el tiempo de concentración del área de drenado.

El método del hidrógrafo unitario es útil para estimar las magnitudes de fluidos crecientes anormales, en la previsión de crestas de inundación durante las tormentas, y en la magnitud del almacenamiento sobre sistemas fluviales extensos. Entre sus propiedades más importantes destacan:

- En lugar de limitarse a la determinación del pico de flujo, puede trazar el hidrógrafo completo resultante de una tormenta.
- Puede producir resultados útiles a partir de poca información. Para áreas pequeñas de drenado, el método depende de las lecturas de un pluviómetro registrador.

Ecuaciones para el flujo de crecientes

Las ecuaciones para el flujo de crecientes son evaluaciones de naturaleza empírica de las características de drenado de la cuenca y de los

factores hidrológicos que se relacionan dentro de la estructura de $Q=CIA$. En los factores, se incluye a la frecuencia, mas no se expresa en términos de frecuencia. Las variaciones tiempo-intensidad se incluyen indirectamente como funciones del área drenada. La ecuación para encontrar el caudal de diseño se reduce, comparada con la del método racional, a la siguiente expresión:

$$Q = CA^m \quad (16)$$

A su vez m se da por la expresión:

$$m = 1 - \frac{n}{2} \quad (17)$$

El valor de n varía de 0.5 a 1.0, por lo tanto, m varía en máxima de precipitación pluvial, la relación escurrimiento-precipitación de la cuenca hidrológica y el factor de frecuencia.

1.2.5.10 Estimación de la escorrentía a través de los datos de lluvia: El método racional

El método racional se ha utilizado durante los últimos cien años alrededor de todo el mundo. La metodología se utiliza en pequeñas cuencas que no excedan un área de 1300 ha o 13 km².

Para calcular el caudal de escurrimiento máximo, se utiliza la siguiente fórmula (Gómez, 2009):

$$Q = \frac{CIA}{360} \quad (18)$$

Donde:

Q = Escurrimiento máximo en m³/s

C = Coeficiente de escurrimiento que varía de acuerdo con las características propias de la cuenca.

I = Intensidad de la lluvia para una frecuencia y periodo de retorno dado (mm/hr)

A = Área de drenaje en hectáreas

El coeficiente 1/360 corresponde a la transformación de unidades.

Se supone al caudal Q_E como un valor máximo producido por una intensidad de lluvia determinada sobre un área de drenaje que se mantiene por un tiempo equivalente al periodo de concentración del caudal (G. Monsalve, 1999)

Área de drenaje

La determinación del área de drenaje se puede realizar con el trazado de bisectrices en diferentes puntos y planimetrando las áreas correspondientes a los diferentes colectores (R. López, 1999).

Intensidad de lluvia

Esta variable se determina por medio de estudios hidrológicos de la zona, con la obtención de las curvas de intensidad, duración y frecuencia. De acuerdo con estas curvas la intensidad, es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia (G. Monsalve, 1999).

La frecuencia de la lluvia dependerá de factores tales como, la importancia de la zona y el área que se drena. Por otro lado, si la duración de la lluvia equivale al tiempo de concentración del área drenada, el caudal se considera máximo (R. López, 1999).

Estimación de la intensidad máxima

El cálculo de la intensidad máxima para una zona determinada representa un trabajo laborioso, esto debido a la cantidad de información que se requiere recolectar. Cuando esta información no se encuentra disponible, es útil aproximar el cálculo, utilizando gráficos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional. En la figura 15, se muestra un gráfico con las lluvias máximas con duración de una hora para diferentes periodos de retorno, por otro lado, en la figura 16, se muestran las curvas estándar de intensidad-duración (Villón, 2002)

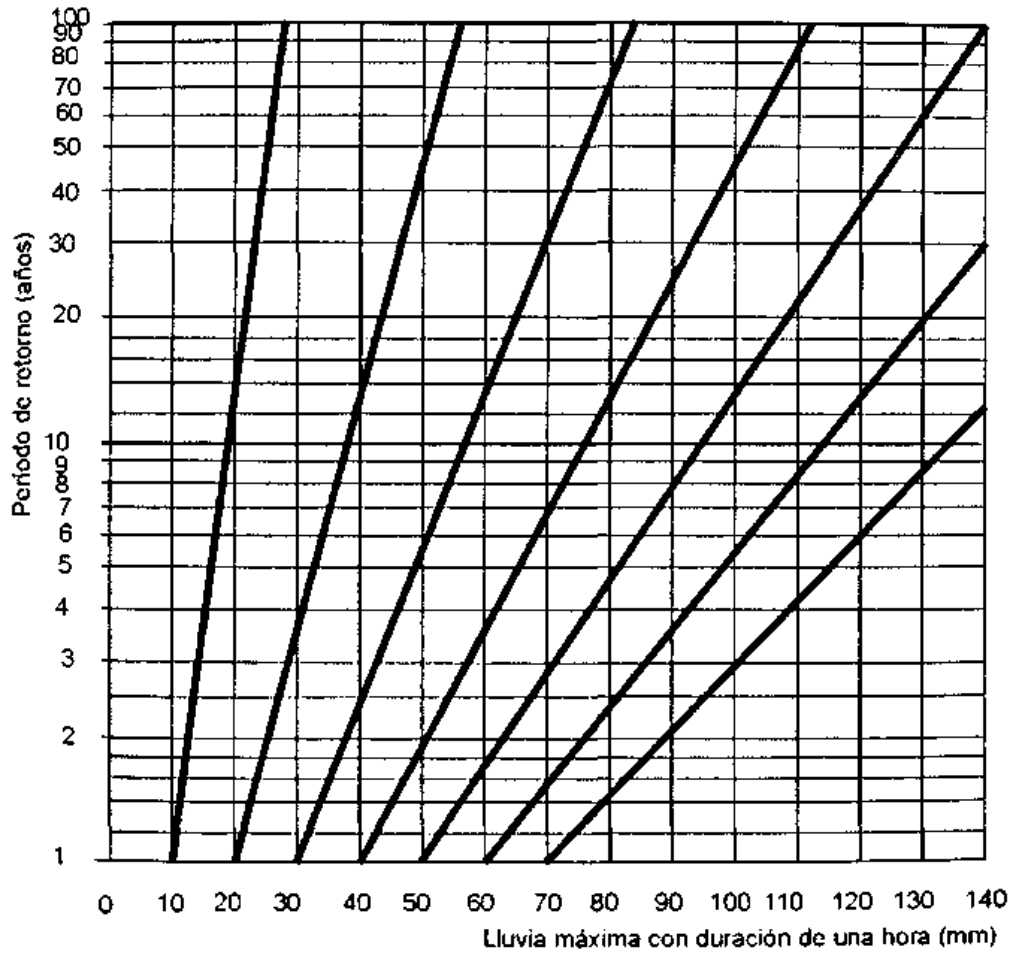


Figura 15. Intensidad de lluvia máxima con duración de 1hr

Fuente: Villón, 2011

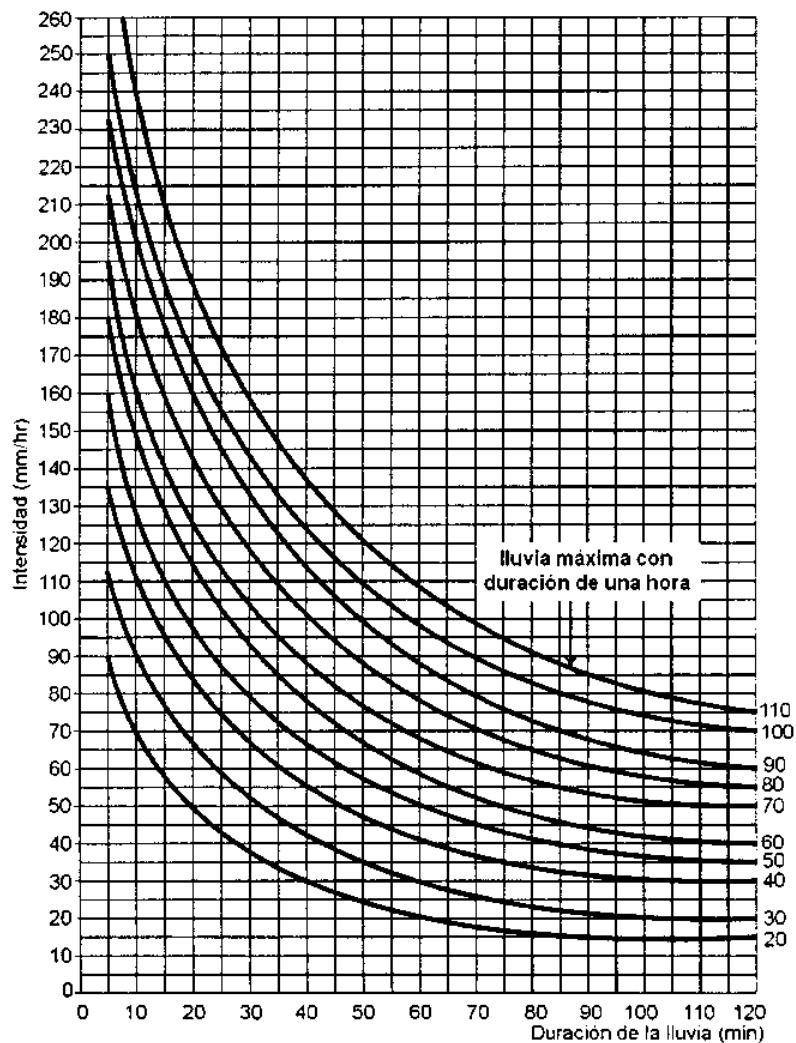


Figura 16. Curvas estándar I-D-F para Costa Rica

Fuente: Villón, 2011

Sin embargo, se recomienda no utilizar estos gráficos en los casos donde el periodo de retorno es mayor a diez años, ya que este método puede llegar a ocasionar errores considerables (Villón, 2002).

Curvas intensidad-duración- tiempo de retorno

Gracias a las investigaciones de Vahrson Wilhem y Alfaro Marvin (1992) se consiguieron las intensidades máximas para los centros urbanos más importantes de Costa Rica. Las siguientes fueron San José, Cartago, Alajuela, Puntarenas, Limón y Liberia (Villón, 2002).

Durante aproximadamente veintiún años se obtuvieron registros de intensidades para duraciones desde 5 hasta 720 minutos, y utilizando la distribución de Gumbel para períodos de retorno de dos hasta doscientos años (Villón, 2002).

Los resultados obtenidos en este estudio fueron básicamente una serie de fórmulas, tablas y gráficos para la determinación de la intensidad máxima, en función de la duración y el periodo de retorno (Villón, 2002). A continuación, se muestran las ecuaciones para cada una de las ciudades importantes en Costa Rica:

Alajuela:

$$I_{max} = 209.844 - 38.7305 \ln(D) + (42.614 - 24.6041 \ln(\ln(D))) \ln(T) \quad (19)$$

Liberia:

$$I_{max} = 200.556 - 35.9234 \ln(D) + (44.1334 - 7.49972 \ln(D)) \ln(T) \quad (20)$$

Limón:

$$I_{max} = 155.052 - 25.8865 \ln(D) + (21.7857 - 3.13747 \ln(D)) \ln(T) \quad (21)$$

San José:

$$I_{max} = 166.097 - 29.6018 \ln(D) + (20.3018 - 2.79158 \ln(D)) \ln(T) \quad (22)$$

Cartago:

$$I_{max} = 156.892 - 28.4612 \ln(D) + (42.2027 - 8.0731 \ln(D)) \ln(T) \quad (23)$$

Puntarenas:

$$I_{max} = 175.645 - 29.5811 \ln(D) + (43.0524 - 5.32126 \ln(D)) \ln(T) \quad (24)$$

En donde:

I_{max} : intensidad máxima, en mm/hr

D: la duración en minutos

T: es el tiempo de retorno en años

En las figuras 17, 18, 19, 20, 21 y 22 se muestran calculadas las intensidades máximas para duraciones de entre 5 y 720 minutos, y períodos de retorno de entre 0.25 a 200 años.

Período de retorno								
D	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	311.26	289.83	268.41	240.09	218.67	168.93	126.09	104.67
10	237.72	222.41	207.09	186.85	171.54	135.98	105.35	90.04
15	200.87	188.33	175.78	159.19	146.64	117.51	92.41	79.86
30	144.32	135.66	127.00	115.55	106.89	86.78	69.45	60.79
60	93.29	87.80	82.30	75.03	69.53	56.77	45.77	40.27
90	65.28	61.39	57.50	52.37	48.48	39.45	31.68	27.79
120	46.06	43.23	40.40	36.66	33.83	27.25	21.59	18.76

Figura 17. Intensidades máximas anuales para Alajuela

Fuente: Villón, 2011

Período de retorno								
D	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	312.62	290.40	268.17	238.79	216.57	164.96	120.52	98.29
10	260.18	241.56	222.93	198.32	179.70	136.46	99.22	80.60
15	229.50	212.99	196.47	174.64	158.13	119.79	86.76	70.25
30	177.06	164.15	151.24	134.17	121.26	91.28	65.46	52.55
60	124.61	115.31	106.00	93.70	84.39	62.78	44.17	34.86
90	93.94	86.74	79.54	70.02	62.82	46.11	31.71	24.51
120	72.17	66.47	60.76	53.22	47.52	34.28	22.87	17.17

Figura 18. Intensidades máximas anuales para Liberia

Fuente: Villón, 2011

Período de retorno								
D	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	202.06	190.46	178.86	163.53	151.93	124.99	101.79	90.19
10	172.60	162.50	152.41	139.07	128.98	105.54	85.35	75.26
15	155.36	146.15	136.94	124.76	115.55	94.16	75.74	66.53
30	125.90	118.19	110.49	100.30	92.60	74.71	59.30	51.60
60	96.43	90.23	84.04	75.85	69.65	55.26	42.87	36.67
90	79.19	73.88	68.56	61.54	56.22	43.88	33.25	27.94
120	66.96	62.27	57.59	51.39	46.70	35.81	26.43	21.74

Figura 19. Intensidades máximas anuales para Limón

Fuente: Villón, 2011

Período de retorno								
D	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	202.22	191.26	180.30	165.81	154.86	129.41	107.50	96.54
10	171.44	161.83	152.21	139.50	129.88	107.55	88.32	78.70
15	153.45	144.61	135.78	124.11	115.27	94.77	77.10	68.27
30	122.67	115.18	107.69	97.79	90.30	72.91	57.92	50.43
60	91.90	85.75	79.60	71.48	65.33	51.05	38.75	32.60
90	73.90	68.54	63.17	56.08	50.72	38.26	27.53	22.16
120	61.13	56.33	51.52	45.16	40.35	29.19	19.57	14.76

Figura 20. Intensidades máximas anuales para San José

Fuente: Villón, 2011

D	Período de retorno (años)							
	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	265.85	245.60	225.35	198.59	178.34	131.33	90.84	70.59
10	216.47	200.10	183.74	162.10	145.73	107.73	74.99	58.62
15	187.59	173.49	159.39	140.75	126.65	93.92	65.72	51.62
30	138.21	127.99	117.77	104.26	94.04	70.31	49.87	39.65
60	88.83	82.49	76.15	67.77	61.43	46.70	34.02	27.68
90	59.95	55.88	51.81	46.42	42.35	32.89	24.75	20.68
120	39.46	37.00	34.53	31.28	28.81	23.10	18.17	15.71

Figura 21. Intensidades máximas anuales para Cartago

Fuente: Villón, 2011

D	Período de retorno (años)							
	200	100	50	20	10	2	0.5	0.25
5	310.77	286.86	262.95	231.35	207.45	151.94	104.13	80.23
10	270.72	249.37	228.02	199.80	178.45	128.88	86.18	64.83
15	247.29	227.44	207.59	181.34	161.49	115.39	75.68	55.83
30	207.25	189.95	172.65	149.79	132.49	92.33	57.74	40.44
60	167.20	152.46	137.72	118.24	103.50	69.27	39.79	25.05
90	143.77	130.53	117.29	99.78	86.53	55.78	29.29	16.05
120	127.15	114.97	102.79	86.68	74.50	46.21	21.84	9.66

Figura 22. Intensidades máximas anuales para Puntarenas

Fuente: Villón, 2011

Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el periodo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector. Se puede dividir en dos tipos: 1) tiempo de concentración inicial y 2) tiempo de recorrido en el colector. Ambos tiempos van a depender de las características de la superficie, tales como la pendiente, tipo de superficie, velocidad, y, en el caso del tiempo de recorrido en el colector, influirá considerablemente la longitud entre los pozos (R. López, 1999).

López (1999) afirma que existen diversas fórmulas empíricas para el cálculo del tiempo de concentración, además de los métodos gráficos, una de estas se presenta a continuación:

$$T_{Cmin} = 0.1637 \times A \times 8.68 \quad (25)$$

Donde:

T_{Cmin} : Es el tiempo de concentración mínimo de la cuenca en minutos

A= Área de drenaje de la cuenca en hectáreas

Por otro lado, el tiempo de recorrido para zanjas y depresiones, encontradas en las zonas urbanas, se puede estimar a partir de la ecuación de Manning:

$$T_d = \frac{Ln}{60 R^{2/3} S^{0.5}} \quad (26)$$

Donde:

T_d : Tiempo de recorrido en minutos

L= Longitud de recorrido en metros

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

R: Radio hidráulico de la sección del conducto natural en metros

S: Pendiente de la línea de energía

Para el diseño de las tuberías, el tiempo de recorrido se debe calcular con la velocidad a tubo lleno de la misma. La expresión que se utiliza para esto es:

$$T_d = \frac{L}{60V} \quad (27)$$

Donde:

T_d : es el tiempo de recorrido del tramo de tubería en minutos.

L: es la longitud de tubería en m.

V: es la velocidad de agua a tubo lleno en m/s

Gómez (2010) proporciona también una fórmula para el cálculo del tiempo de concentración en una cuenca, esta se describe a continuación:

$$TC = \frac{0.02L^{1.15}}{H^{0.385}} \quad (28)$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración en minutos

L: es la longitud del cauce principal de la cuenca en m

H: es la diferencia de nivel del punto más lejano de la cuenca hasta el punto más bajo en m.

Otra ecuación que se puede utilizar para el cálculo de tiempo de retorno es la fórmula propuesta por Kirpich (Villón, 2006).

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (29)$$

Donde:

t_c: es el tiempo de concentración en minutos

L: es la longitud máxima del recorrido en metros

H: es la diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal en metros

Villón (2006), describe otras fórmulas de igual naturaleza empírica que se citan a continuación:

- Fórmula australiana:

$$t_c = \frac{58L}{A^{0.1}S^{0.2}} \quad (30)$$

Donde:

t_c: es el tiempo de concentración en minutos

L: es la longitud de la corriente en km

A: es el área de la cuenca en Km²

S: es la pendiente del perfil de la corriente en m/km

- Fórmula de George Rivero

$$t_c = \frac{16L}{(1.05-0.2p)(100S)^{0.04}} \quad (31)$$

Donde:

t_c : es el tiempo de concentración en minutos

L: es la longitud de la principal en km

p: es la relación entre el área cubierta de vegetación y el área total de la cuenca, adimensional

S: es la pendiente media del canal principal en m/m

- Formula del SCS

$$t_c = \frac{0.02872L^{0.80} \left(\frac{100}{N}-9\right)^{1.67}}{S^{0.50}} \quad (32)$$

Donde:

t_c : es el tiempo de concentración en minutos

L: es la longitud hidráulica de la cuenca, en m, y se define mediante:

$$L = 110 * A^{0.60}$$

A: es el área de la cuenca en ha

N: es el número de curva, adimensional

S: es la pendiente promedio de la cuenca en porcentaje

Como anteriormente se mencionó, el tiempo de concentración se divide en dos componentes; la primera; es el tiempo que se requiere para que la escorrentía llegue al primer tragante, y la segunda, es el tiempo de recorrido dentro de la tubería entre los pozos consecutivos correspondientes al tragante. Por lo tanto, el tiempo de concentración total del sistema de alcantarillado será la sumatoria de la componente uno y la componente dos de cada tubería, y se expresa como:

$$T_c = \sum_n^{\infty} T_1 + T_{2,n} \quad (33)$$

Coeficiente de escorrentía

El porcentaje de lluvia que llega al sistema de alcantarillado jamás representa la precipitación total, algunos porcentajes se pierden en evaporación, detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones, intercepción vegetal o por infiltración. Sin embargo, de todos estos la infiltración es el factor más importante y se halla en función de la impermeabilidad del terreno.

El valor de C depende de factores topográficos, edafológicos, cobertura vegetal, entre otros.

$$C = \frac{V \text{ escorrentía superficial total}}{V \text{ precipitado total}} \quad (34)$$

En los casos donde la cuenca está compuesta por superficies de distintas características, el valor de C se obtiene como una media ponderada de la siguiente manera:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n C_iA_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (35)$$

En la tabla 2, se muestran valores del coeficiente de escurrimiento en función de la capa vegetal, de la pendiente y textura del terreno.

Tabla 2. Valores del coeficiente de escurrimiento

Tipo de Vegetación	Pendiente	Textura		
		Franco Arenosa	Franco arcillolimoso Franco limosa	Arcillosa
Forestal	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.50	0.60
Praderas	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.15	0.35	0.55
	10-30	0.20	0.50	0.60
Terrenos cultivados	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.60	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80

Fuente: Villón, 2006

En la tabla 3, se presentan los coeficientes de escurrimiento para las zonas urbanas, estos son lo suficientemente conservadores como para ser utilizados en diseño.

Tabla 3. Coeficiente C para zonas urbanas

Tipo de Área a drenar	Coeficiente de escurrimiento C
Áreas comerciales	
Céntricas	0.7-0.95
Vecindarios	0.5-0.7
Áreas residenciales	
Familiares simples	0.30-0.50
Multifamiliares separadas	0.40-0.60
Semi-urbanos	0.60-0.75
Casas de habitación	0.50-0.70
Áreas industriales	
Densas	0.60-0.90
Espaciadas	0.50-0.80
Parques, cementerios	0.10-0.25
Campos de juego	0.10-0.35
Patios de ferrocarril	0.20-0.40
Zonas suburbanas	0.10-0.30
Calles	
Asfaltadas	0.70-0.95
De concreto hidráulico	0.80-0.95
Adoquinadas	0.70-0.85
Estacionamientos	0.75-0.85
Techados	0.75-0.95

Fuente: Villón, 2006

Existe un método gráfico, mostrado en la figura 23, para encontrar el coeficiente de escurrimiento en zonas rurales, en función del tipo de suelo y los tipos de cobertura del área. Estos coeficientes pueden utilizarse con el método racional sin ninguna dificultad.

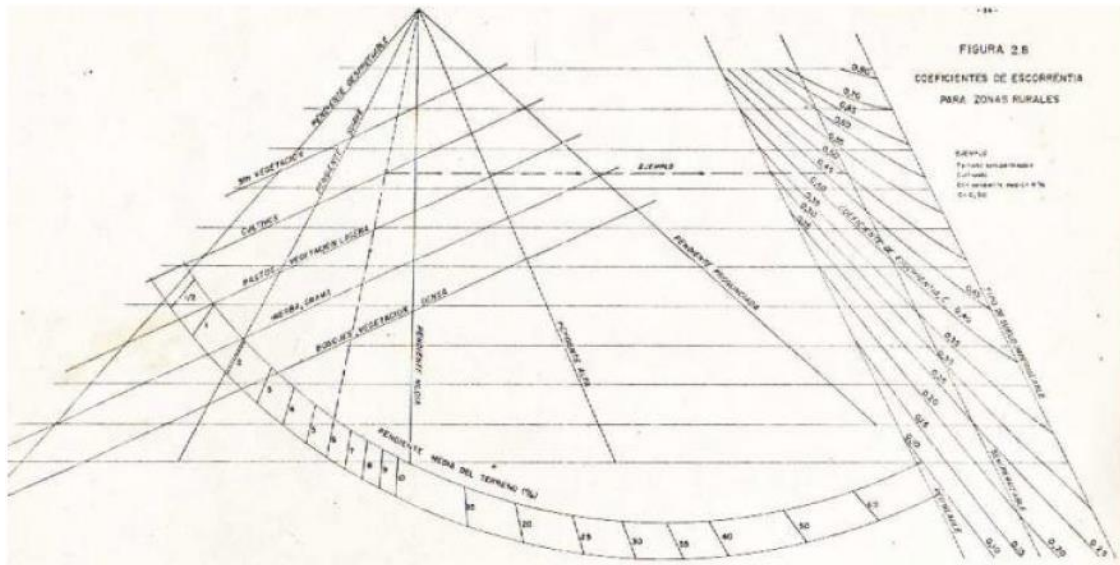


Figura 23. . Coeficientes de escorrentía

Fuente: Jiménez, 2014

Además, Jiménez (2014), propone otras dos tablas para encontrar el coeficiente de escorrentía para diferentes áreas y superficies, y se representan en las figuras 24 y 25 correspondientemente.

Tipo de área	C
Comercial	
Área central	0,70-0,95
Área de barrio	0,50-0,70
Residencial (urbana)	
Área familiar individual	0,30-0,50
Multifamiliar separada	0,40-0,60
Multifamiliar unida	0,60-0,75
Residencial (suburbana)	0,25-0,40
Industrial	
Liviana	0,50-0,80
Pesada	0,60-0,90
Parques, cementerios	0,10-0,25
Lugares de juego	0,20-0,35

Figura 24. Coeficiente de escorrentía para diferentes áreas

Fuente: Jiménez, 2014

Tipo de Superficie	C
Techos a prueba de agua	0,70-0,90
Calles con cemento asfáltico	0,85-0,90
Calles con cemento Pórtland	0,80-0,95
Aceras y parqueaderos pavimentados	0,75.-0,85
Aceras y parqueaderos con grava	0,15-0,30
Suelos arenosos, prados	
2% de pendiente	0,05-0,10
2-7% de pendiente	0,10-0,15
> 7% de pendiente	0,15-0,20
Prados, suelos pesados	
2% de pendiente	0,13-0,17
2-7% de pendiente	0,18-0,22
> 7% de pendiente	0,25-0,35

Figura 25. Coeficiente de escorrentía para varias superficies

Fuente: (Jiménez, 2014).

1.2.5.11 Reglamento de Normas Técnicas de Acueductos y Alcantarillados

En Costa Rica, se utiliza la reglamentación realizada por el AyA para el diseño de diferentes estructuras de alcantarillado pluvial, sanitario, acueductos y estructuras de tratamiento de aguas residuales. Los capítulos de este reglamento, referentes a alcantarillado pluvial, norman lo respectivo al diseño, materiales y construcción. A continuación, se dictan cada una de las especificaciones correspondientes a las diferentes etapas.

Diseño del alcantarillado Pluvial

- Se va a considerar que las lluvias de diseño son constantes y uniformes en intensidad, duración y frecuencia en toda la extensión de la cuenca.
- La estimación del caudal de diseño se realizará preferiblemente por medio de la fórmula racional descrita anteriormente. El tiempo de recorrido en un tramo de tubería se calculará utilizando la velocidad a tubo lleno. Por otro lado, el tiempo de concentración de la lluvia que se debe considerar no debe ser menor a diez minutos.

- La velocidad máxima permitida a tubo lleno será de 5.0 m/s, la mínima; será definida por la fuerza tractiva cuyo valor mínimo es de 0.10 kg/m².
- La sección a utilizar para el alcantarillado pluvial será circular.
- En cuanto al tirante hidráulico máximo permisible, el valor será 0.85 del diámetro de la tubería.
- No se permite la disminución en el diámetro nominal de las tuberías en la dirección del flujo.
- La profundidad máxima será de 3,60 metros de la rasante terminada a la corona del tubo.
- Los pozos de registro deben construirse en todo inicio e intersección de tuberías, así como en los cambios de dirección, diámetro, pendiente, material de la tubería y en los tramos rectos. La distancia en línea recta entre pozos no debe exceder los 120m.
- El diámetro nominal de las tuberías no debe ser menor a 400 mm. Las tuberías de unión entre los tragantes y los pozos de registro serán de un diámetro nominal mínimo de 300 mm, y la tubería de evacuación de dos tragantes unidos entre sí será de 400 mm.
- La longitud total de caño entre tragantes no debe ser mayor a 120 metros. Además, en las esquinas se deberán construir dos tragantes. La profundidad mínima del fondo del tragante respecto a la rasante será de 0.90 metros.
- En aquellos casos donde el alcantarillado pluvial con tubería no pueda descargar en un cuerpo receptor con el gradiente mínimo, se permitirá utilizar canales abiertos. Se utilizará la sección de canal trapezoidal con una pendiente mínima de 4 horizontal y 1 vertical y con un tirante máximo de 20 cm.

Construcción del alcantarillado Pluvial

- Las tuberías de alcantarillado pluvial se ubicarán en los costados sur, de las avenidas, y en los costados este, en el caso de las calles, en la línea de centro entre las líneas de alcantarillado sanitario y cordón de caño. Se colocarán a una distancia mínima libre de 0.20 metros por debajo del alcantarillado sanitario.

- Las uniones de tubería para alcantarillado pluvial serán exclusivamente con empaques de hule.
- Los pozos de registro serán de concreto y contarán con una tapa de inspección.
- Por otro lado, los tragantes serán de concreto reforzado, contarán con dos bocas de inspección con sus respectivas rejillas.

Materiales para el alcantarillado pluvial

- Para las tuberías de alcantarillado pluvial, se utilizarán las tuberías indicadas en la figura 26, para unión con empaque de hule o solaqueadas con mortero de cemento.

Material	Tipo de tubería	Norma de Correspondencia	Designación (Cédula, SDR, rigidez, clase)	Norma de Referencia INTECO	Rango de diámetros Nominales (mm)	Tipo de unión
PVC	Tuberías de pared sólida	ASTMD 3034	SDR41, SDR35	INTE 16-01-02	100 a 375	Junta con empaque de hule
	Tuberías de doble pared corrugada externamente	ASTMF 949	PS46	RTCR 304: 1997	100 a 600	Junta con empaque de hule
	Tuberías de pared	ASTMF 2307	PS10	RTCR 304: 1997	450 a 1.500	Junta con empaque de hule
	perfilada	DIN 16961	Series 1, 2, 3 y 4	RTCR 232: 1994	100 a 1500	Junta cementada
PEAD	Tuberías de doble pared corrugada	AASHTO M 292 &M 294	Variable según diámetro	INTE 16-05-04	100 a 1.500	Junta con empaque de hule
Concreto	Sin refuerzo	ASTMC-14	Clase 1		100 a 900	Junta con empaque de hule
	Con refuerzo	ASTM C-76	Clases I, II, III, IV y V		300 a 3050	

Figura 26. Tipos de tubería para alcantarillado Pluvial

Tomado de: Reglamento de Normas Técnicas del AyA

- Las tapas de los pozos de registro serán de hierro fundido y con bisagra del mismo material.
- Por otro lado, las rejillas de los tragantes serán igualmente de hierro fundido y d angulares de acero en el marco.
- En los casos donde se utilicen los canales abiertos, deberán tener **u** revestimiento adecuado para resistir la abrasión. En el caso de ser de concreto, deberá ser reforzado.

1.2.5.12 Las secciones: Diseño Hidráulico

El diseño de las secciones de un alcantarillado pluvial implica considerar las condiciones actuales y futuras de la zona donde se va a construir la estructura. Es necesario poseer la información del análisis hidrológico, es decir, el caudal máximo de diseño actual y futuro.

El diseño de tuberías implica darle valor numérico a las siguientes especificaciones técnicas. Primero, se debe seleccionar el tipo de sección transversal a utilizar, con el fin de determinar las relaciones geométricas que son importantes en los cálculos posteriores (Carmona, 2014). La figura 27 muestra algunas secciones y sus características geométricas correspondientes.

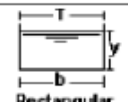

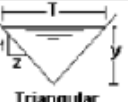


Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 27. Secciones geométricas variables

Fuente: Carmona, 2014

Para las secciones circulares el ángulo θ se determina por medio de la siguiente expresión:

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{y}{D/2}\right) \quad (36)$$

Donde:

y= tirante hidráulico

D=Diámetro de la tubería

Por otro lado, el caudal que determinado elemento del sistema podrá trasegar, se determina utilizando la fórmula de Manning que se presenta a continuación:

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (37)$$

Donde:

Q: es el caudal en m³/s

A: es el área hidráulica en m²

n: es el coeficiente de rugosidad de Manning

R: es el radio hidráulico en m

S: es la pendiente de la tubería obtenida en m/m

En la figura 28 se muestran valores del coeficiente de rugosidad de Manning en función del material.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	0.010	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	0.024	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	0.010	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	0.013	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	0.014	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
e. Madera			

Figura 28. Coeficientes de rugosidad de Manning

Fuente: Carmona, 2014

Carmona (2014) menciona que el caudal resultante de la ecuación equivale a la capacidad de la tubería, y este deberá compararse con el caudal estimado en el análisis hidrológico para saber si la sección escogida tendrá la capacidad de transportar el caudal demandado

La fuerza tractiva o esfuerzo cortante medio establece el punto límite sobre el cual se puede generar un deterioro acelerado de las paredes de las tuberías y bajo el cual se pueden obtener las velocidades mínimas que provocan la sedimentación (Carmona, 2014).

$$\tau = \gamma RS \quad (38)$$

Donde:

γ : es el peso específico del fluido kg/m^3 ($\gamma_{\text{H}_2\text{O}}=1000 \text{ kg/m}^3$)

R: es el radio hidráulico en m

S: es la pendiente de la tubería estimado en m/m

La velocidad se estima con la ecuación de la Sección, la cual resulta del despeje de la fórmula de Manning.

Las velocidades en los canales varían en un rango cuyos límites son la velocidad mínima que no produzca depósitos de materiales sólidos en suspensión, y la máxima que no produzca erosión en las paredes y el fondo de la tubería.

Para el cálculo de la longitud de la tubería entre pozos y tragantes, se utiliza la siguiente expresión:

$$L = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2} \quad (39)$$

Donde:

L: es la longitud de la tubería en m

$x_1 - x_0$: es la diferencia de longitud horizontal entre pozos o tragantes en m

$y_1 - y_0$: es la diferencia de elevación de secciones de pozos o tragantes en m

La pendiente es una variable que se utiliza en muchos de los cálculos anteriores y es muy importante determinarla por medio de la siguiente ecuación, para todas las tuberías y demás elementos del alcantarillado pluvial:

$$S = \left(\frac{y_1 - y_0}{L} \right) * 100 \quad (40)$$

Donde:

S: es la pendiente en %

$y_1 - y_0$: es la diferencia de elevación de secciones de pozos o tragantes en m

L: es la longitud de la tubería en m

Además, si existe la presencia de los tipos de flujos crítico, subcrítico y supercrítico, es necesario definir en número de Froude, el cual va en función de la velocidad del flujo y este a su vez varía conforme la fuerza tractiva del canal (Carmona, 2014). Se calcula por medio de la expresión:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \frac{A}{T}}} \quad (41)$$

Donde:

F: es el número de Froude

V: es la velocidad media del agua en m/s

g: es la aceleración de la gravedad en m/s²

T: es el espejo de agua en m

Si el $F < 1$ existe la presencia del flujo subcrítico en la tubería o canal. Si se tiene $F = 1$ el flujo es crítico y si $F > 1$ el flujo de la tubería es supercrítico.

Durante toda la longitud del alcantarillado pluvial, el caudal se va acumulando conforme esta aumenta. Para evitar la acumulación excesiva, es necesario evacuar las aguas en ciertos puntos, y así mantener diámetros de tuberías los más pequeños posibles.

Para poder definir los puntos de desfogue, es necesario tomar en cuenta los caudales que recibe cada pozo; si el caudal recibido es relativamente mayor, se requiere colocar un punto de desfogue.

Por otro lado, también es importante considerar los caudales que trasiega el río, quebrada o cuerpo de agua al que se van a desfogar las aguas provenientes del alcantarillado pluvial, además de estimar el volumen de agua para temporadas de crecida por la época lluviosa y así determinar si es adecuado evacuar las aguas en dicho sitio.

1.2.6 Programas informáticos

1.2.6.1 Google Earth

De acuerdo con la información tomada de Cárdenas (2014), Google Earth es un programa informático que permite visualizar imágenes satelitales, mapas, relieve, edificios en 3D, las profundidades marinas y hasta galaxias lejanas. Dentro de sus funciones principales se destacan:

- Permite crear mapas personalizados de Google Maps o Google Earth con datos privados.
- Es posible crear un mapa a partir de imágenes y fragmentos de carretera personalizados en función de los datos.
- Restringe el acceso a distintas capas de lugares para proteger los datos confidenciales.

En cuanto a la precisión del software, se puede decir que el programa tiene una precisión de dos metros en altura y tres metros en las dos coordenadas del plano.

Para comenzar a utilizar el software, se debe ubicar la zona de estudio por medio del buscador de Google Earth, ya sea con el nombre del lugar o con sus coordenadas geográficas.

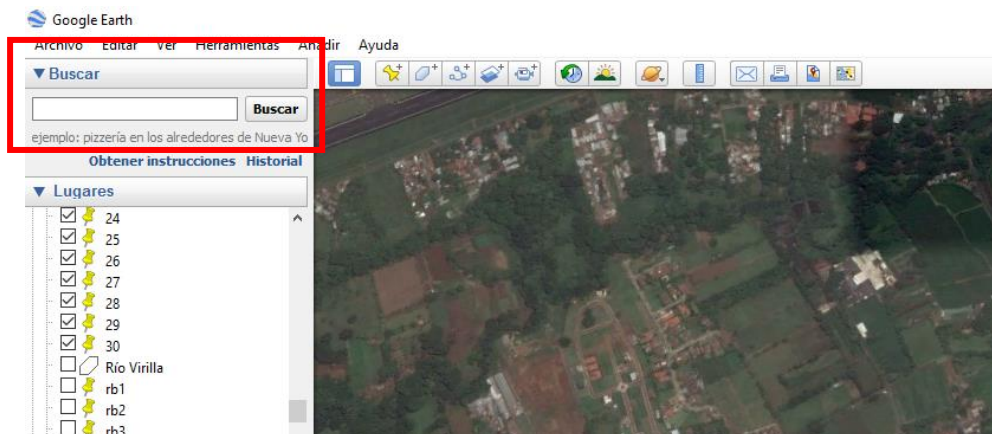


Figura 29. Comando Buscar

Fuente: Google Earth, 2017

Es posible insertar puntos, polígonos, rutas, entre otros elementos para poder ubicarlos en una zona específica del mapa. Dichos elementos se encuentran en la barra superior a la imagen del archivo.

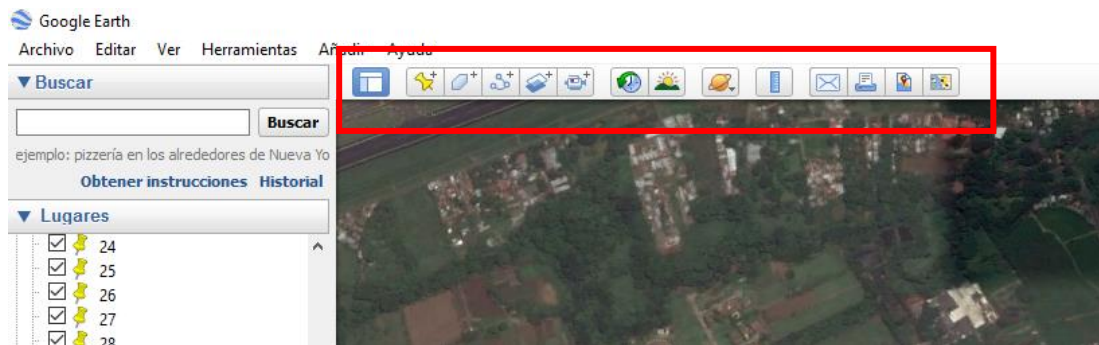


Figura 30. Objetos posibles de colocar

Fuente: Google Earth, 2017

Es posible modificar las propiedades de cada elemento colocado en el mapa, solamente se debe marcar clic derecho en los mismos, ir a propiedades y allí se pueden observar las principales características de los elementos marcados.

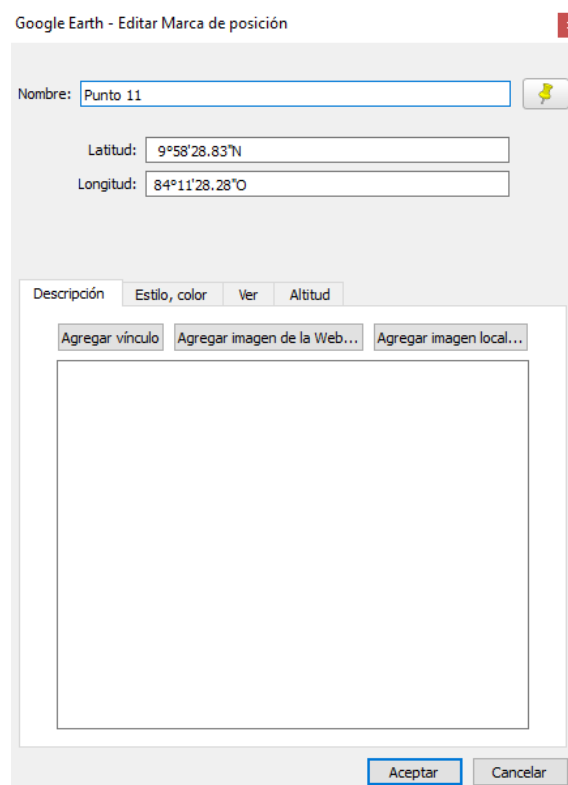


Figura 31. Modificación de propiedades

Fuente: Google Earth, 2017

1.2.6.3 CivilCAD

El software CivilCAD, según Carmona (2014), está diseñado para crear funciones que automatizan y simplifican funciones dentro del software AutoCAD y entre las características más importantes se destaca:

- Puede obtener rápidamente perfiles, secciones, curvas de nivel.
- Cálculo de volúmenes en plataformas y vialidades.
- Cuadros de construcción.
- Subdivisión de polígonos.
- Entre otras 100 rutinas útiles.

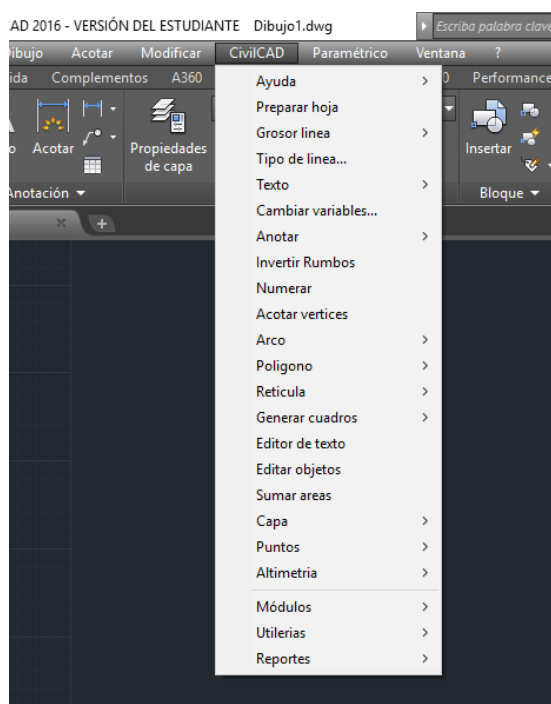


Figura 32. Herramientas de CivilCAD

Fuente: CivilCAD, 2017

Primeramente, se selecciona el botón de CivilCAD en la barra de menú y de ahí se desprenden todos los comandos del software añadido. En el comando de módulos, es posible importar puntos y polígonos de CivilCAD a Google Earth y viceversa.

Para poder importar elementos de Google Earth, es importante asegurarse de que estos se seleccionen entre los elementos KML añadidos a Google Earth.

En el caso de requerir verificar las características de los elementos, estos se seleccionan y se marcan con clic derecho. Se selecciona la opción de propiedades y allí se pueden observar las características deseadas.

1.2.6.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS es un objeto que permite a una persona determinar su posición en cualquier parte del mundo en que se encuentre, con una precisión de centímetros (Si se utiliza GPS diferencial), aunque habitualmente son unos pocos metros de precisión (Carmona, 2014).

Carmona (2014) afirma que el sistema de GPS fue desarrollado, instalado y empleado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, está constituido por 24 satélites y utiliza una trilateración para determinar en toda la extensión del globo la posición con una precisión más o menos de metros.

Los 24 satélites se encuentran en órbita sobre el planeta Tierra, a 20200 km de altura, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie del globo. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza, localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales que indican la identificación y la hora del reloj que marca cada uno de ellos.

Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y mide la distancia al satélite mediante el método de trilateración inversa, el cual se basa en la determinación de la distancia de cada satélite con respecto al punto de medición. Al conocer las distancias, puede determinarse con facilidad la propia posición respecto a los satélites.

Capítulo II: Metodología del proyecto

Con la realización de este proyecto, se pretende ofrecer en primer lugar, a los usuarios que circulan por el camino de Calle Potrerillos más confortabilidad y seguridad al desplazarse hacia sus destinos. En segundo lugar; se espera obtener un diseño que le sea de utilidad a la Municipalidad de Belén, para que puedan implementarlo si les parece adecuado.

Para lograr estos cometidos, se va a requerir información tomada en campo o proporcionadas por la Municipalidad de Belén y otras entidades.

2.1 Teoría y conceptos básicos

Los conceptos y teoría de los métodos a utilizar para las diferentes etapas de diseño del sistema de drenaje en una carretera, se establecen en el capítulo anterior. En este se determinan las variables requeridas y se conceptualiza la información requerida para el análisis y diseño hidrológico de un alcantarillado pluvial.

Las fuentes bibliográficas se escogieron mediante el juicio profesional y especialmente las que son utilizadas actualmente en Costa Rica. También se utilizaron diversos autores que se dedicaron a la investigación de los conceptos referidos al tema, como tesis realizadas en diferentes instituciones de Costa Rica.

2.1.1 Fuentes de información

Para todos los procesos de análisis y diseño de la estructura de drenaje y superficie de riego de calle Potrerillos, se contará con la información disponible proporcionada por la dirección de obras de la municipalidad. Esta incluye información hidrológica, topográfica y datos del Plan Regulador de la Municipalidad de Belén que se deben tomar en cuenta.

La Municipalidad cuenta con cierta información topográfica de la zona por lo que se utilizaran software como Google Earth y CivilCad, descritos anteriormente en la sección 1.2.6 , para la manipulación de dichos datos. La información de ubicación de los puntos de interés se realizó por medio de GPS, con las coordenadas geográficas.

2.2 Técnicas para la recopilación de datos

La recopilación de información es la base para alcanzar los objetivos propuestos y las técnicas y recursos necesarios para obtenerla, deben adaptarse a las necesidades del proyecto.

Debido a que la mayor parte de los datos esenciales serán proporcionados por la Municipalidad de Belén, el trabajo en campo fue requerido en un nivel mínimo; se redujo a visitas esporádicas para toma de fotografías o información faltante en dado caso que esto suceda.

2.3 Instrumentos para la recopilación de datos

La información geográfica se recolectó por medio de los instrumentos de medición descritos a continuación:

GPS: por sus siglas en inglés *Global Positioning System*, es la herramienta que permitirá determinar las coordenadas geográficas de los diferentes puntos a analizar y diseñar en el proyecto de alcantarillado pluvial de calle Potrerillos. En la Sección 1.2.6.2 del Capítulo I, se describe todo lo referente a esta herramienta, que es de gran utilidad en tiempos actuales.

Google Earth: Con la utilización de este software se podrán determinar muchas variables requeridas para el diseño del alcantarillado pluvial. Se podrá determinar las áreas tributarias respectivas para cada tragante; por medio del trazo de poligonales, así como la posición de cada uno de los elementos.

2.4 Técnicas e Instrumentos para el análisis de datos

CivilCAD: Esta herramienta posee la capacidad de calcular el área de polígonos irregulares extraídos de Google Earth, esto es necesario realizarlo para determinar las áreas tributarias.

CivilCAD será útil para la realización de los planos del diseño final del sistema de alcantarillado pluvial. Este software va a proporcionar las vistas en planta y perfiles de los elementos y su respectiva colocación a lo largo de todo el tramo a intervenir.

Por otro lado, para el diseño del sistema de alcantarillado se va a utilizar diversas hojas de Microsoft Excel. Dicho software será útil para los cálculos matemáticos respectivos para el análisis de información hidrológica, en este caso, la determinación de los caudales de diseño. También permitirá calcular los diseños, actuales y proyectados, para los diferentes tiempos de retorno.

2.4.1 Referenciación Geográfica

Para el análisis de datos geográficos, se utilizaron principalmente dos sistemas de referencia para la ubicación de los puntos de interés. El primero trata sobre la ubicación de los estacionamientos a cada 20 metros, comenzando desde el estacionamiento 0+000.00, hasta la estación 1+120.00. Este sistema fue muy útil para las propuestas de diseño; para poder ser capaces de ubicar los estacionamientos de cada elemento del alcantarillado.

El segundo sistema para la localización de los puntos corresponde a las coordenadas geográficas, las cuales proporcionan la ubicación en dos ejes; la latitud y la longitud. En la siguiente figura se muestra la planta del proyecto y los ejes de coordenadas geográficas correspondientes.

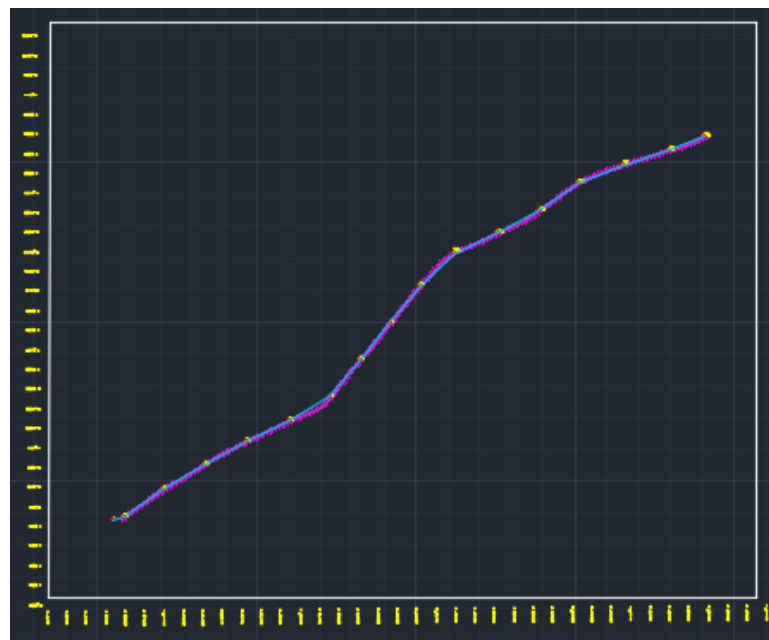


Figura 33. . Ejes de coordenadas geográficas

Fuente: CivilCAD, 2017

2.4.2 La cuenca hidrográfica

Para el proyecto se utilizó la información disponible de la cuenca del río Virilla. Con el análisis de la información topográfica, se logró determinar la dirección del recorrido de la escorrentía. Dicha información se sustrajo de un estudio realizado por el Grupo JCB S.A., que se dedica a realizar proyectos de obras de ingeniería civil; para este caso, se encargaron de realizar los levantamientos topográficos requeridos y solicitados por la Municipalidad de Belén. Las curvas de nivel se obtendrán por medio del software Google Earth con el procedimiento que se describe más adelante. A continuación, se muestra en la tabla 5 el levantamiento topográfico realizado, con las elevaciones de la rasante a cada 5m y a ambos extremos de la carpeta asfáltica.

Tabla 4. Topografía de la zona

Tabla de Elevaciones		
Estacionamiento	Extremo de la rasante	
	Derecho (m)	Izquierdo (m)
0+000	65,552	65,550
0+005	65,924	65,920
0+010	66,350	66,350
0+015	66,800	66,800
0+020	67,274	66,270
0+025	67,748	67,750
0+030	68,221	68,220
0+035	68,693	68,690
0+040	69,165	69,160
0+045	69,429	69,430
0+050	69,669	69,670
0+055	69,907	69,910
0+060	79,144	70,140
0+065	70,378	70,380
0+070	70,563	70,560
0+075	70,704	70,700
0+080	70,845	70,840
0+085	70,986	70,990
0+090	71,127	71,130
0+095	71,268	71,270
0+100	71,351	71,350
0+105	71,432	71,430

Estacionamiento	Extremo de la rasante	
	Derecho (m)	Izquierdo (m)
0+110	71,514	71,510
0+115	71,595	71,590
0+120	71,676	71,680
0+125	71,771	71,770
0+130	71,872	71,870
0+135	71,973	71,970
0+140	72,073	72,070
0+145	72,174	72,170
0+150	72,273	72,270
0+155	72,365	72,360
0+160	72,457	72,460
0+165	72,549	72,550
0+170	72,641	72,640
0+175	72,716	72,720
0+180	72,711	72,710
0+185	72,706	72,710
0+190	72,701	72,700
0+195	72,696	72,700
0+200	72,689	72,690
0+205	72,701	72,700
0+210	72,725	72,720
0+215	72,749	72,750
0+220	72,773	72,770
0+225	72,797	72,800
0+230	72,829	72,830
0+235	72,880	72,880
0+240	72,932	72,930
0+245	72,983	72,980
0+250	73,035	73,030
0+255	73,088	73,090
0+260	73,191	73,190
0+265	73,308	73,310
0+270	73,425	73,200
0+275	73,541	73,540
0+280	73,658	73,660
0+285	73,767	73,770
0+290	73,864	73,860
0+295	73,963	73,960
0+300	74,062	74,060
0+305	74,161	74,160

Estacionamiento	Extremo de la rasante	
	Derecho (m)	Izquierdo (m)
0+310	74,260	74,260
0+315	74,338	74,340
0+320	74,410	74,410
0+325	74,482	74,480
0+330	74,553	74,550
0+335	74,625	74,630
0+340	74,728	74,730
0+345	74,864	74,860
0+350	75,004	75,000
0+355	75,125	75,120
0+360	75,284	75,280
0+365	75,414	75,410
0+370	75,500	75,500
0+375	75,625	75,630
0+380	75,737	75,740
0+385	75,848	75,850
0+390	75,959	75,960
0+395	76,068	76,070
0+400	76,171	76,170
0+405	76,275	76,270
0+410	76,378	76,380
0+415	76,529	76,530
0+420	76,704	76,700
0+425	76,861	76,860
0+430	77,043	77,040
0+435	77,225	77,230
0+440	77,472	77,470
0+445	77,704	77,700
0+450	77,935	77,940
0+455	78,167	78,170
0+460	78,399	78,400
0+465	78,673	78,670
0+470	78,963	78,960
0+475	79,302	79,300
0+480	79,653	79,650
0+485	79,977	79,980
0+490	80,252	80,250
0+495	80,527	80,530
0+500	80,803	80,800
0+505	81,073	81,070
0+510	81,326	81,330
0+515	81,572	81,570

Estacionamiento	Extremo de la rasante	
	Derecho (m)	Izquierdo (m)
0+520	81,692	81,690
0+525	81,702	81,700
0+530	81,685	81,680
0+535	81,668	81,670
0+540	81,652	81,650
0+545	81,644	81,640
0+550	81,640	81,640
0+555	81,635	81,640
0+560	81,633	81,630
0+565	81,640	81,640
0+570	81,652	81,650
0+575	81,662	81,660
0+580	81,679	81,680
0+585	81,713	81,710
0+590	81,747	81,750
0+595	81,781	81,780
0+600	81,814	81,810
0+605	81,848	81,850
0+610	81,882	81,880
0+615	81,914	81,910
0+620	81,944	81,940
0+625	81,975	81,970
0+630	82,008	82,010
0+635	82,050	82,050
0+640	82,089	82,090

Fuente: Alpizar G., Sequeira, G. (2017)

El levantamiento topográfico solo incluye las elevaciones desde el estacionamiento 0+000 hasta el 0+640, por esta razón, para el resto del trayecto se deben obtener las elevaciones de los puntos por medio del software CivilCAD y Google Earth. El procedimiento de obtención de estos datos inicia con las curvas de nivel tomadas de CivilCAD. Al dibujar las curvas por medio de puntos trazados con Google Earth, es posible determinar las altitudes y el perfil del terreno. Una vez realizado este proceso, se proponen las pendientes de la carpeta asfáltica. El perfil del proyecto debe estar lo más

cerca posible al del terreno, ya que en la zona no existen cortes ni taludes pronunciados.

El río Virilla es el cuerpo de agua en donde se descarga un gran porcentaje de las aguas pluviales provenientes de las carreteras de toda el Gran Área Metropolitana. Por esta razón, es importante conocer el caudal de las avenidas máximas del río. Debido a que el área perteneciente a la cuenca del río Virilla es de aproximadamente 6949.82 hectáreas, no es posible analizarla sencillamente con el método racional; se requiere un estudio más complejo y detallado.

El cantón de Belén se ha visto afectado periódicamente por inundaciones causadas por el exceso de escorrentía, o mejor dicho, por la ineficiente disposición de las aguas pluviales a los diferentes cuerpos de agua que se encuentran en la zona. Como entidad encargada de resolver este tipo de problemas, la Municipalidad de Belén contactó al Instituto Costarricense de Electricidad para que realicen un estudio hidrológico de los diferentes ríos que cruzan por el cantón.

Este estudio arrojó como resultado los caudales de las avenidas máximas para diferentes periodos de retorno. Tales resultados se consiguieron por medio de métodos indirectos como el modelo HEC-HMS, que fue desarrollado por el cuerpo de ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Además, se utilizó la información disponible de las estaciones meteorológicas de La Aurora, Santa Lucía y la estación del Aeropuerto Internacional Juan Santamaría. No es de interés para este proyecto conocer al detalle cómo se realizó el proceso para obtener estos datos, solamente serán útiles para determinar qué afectación tienen los caudales producidos por el sistema de drenaje de calle Potrerillo en comparación con los del río Virilla.

La figura 34 muestra los resultados obtenidos del análisis de frecuencia de avenidas en el río Virilla para varios periodos de retorno.

Prob %	Tr (años)	Caudal (m ³ /s)
99.01	1.01	111
95.24	1.05	128
80	1.25	158
50	2	210
20	5	308
10	10	398
5	20	509
2	50	699
1	100	887

Figura 34. Caudales máximos del río Virilla

Fuente: ICE, 2008

2.4.3 Estimación de los caudales de diseño

Como se ha descrito anteriormente, los caudales a utilizar en los diferentes diseños se determinaron con el método racional, explicado en la sección 1.2.5.10. Se debe recordar que el caudal estimado considera solamente las lluvias que caen específicamente en esta zona.

Se montaron diversas hojas en Excel para realizar los cálculos de una forma ordenada y sencilla de comprender. La expresión para el cálculo del caudal por medio del método racional es la ecuación 18.

En cuanto a los parámetros citados en la ecuación 18; se va a describir, a continuación, el proceso de cómo se determinó cada uno de ellos.

2.4.3.1 El área tributaria

Con la utilización del programa CivilCAD, se calculó un área tributaria para la zona perteneciente al sistema de drenaje. Con la ayuda de Google Earth, se definieron los polígonos correspondientes a las áreas donde existe mayormente vegetación, y otros polígonos para la zona urbana donde existen edificios y calles.

Se procedió a sustraer las curvas de nivel respectivas de la zona para determinar la dirección que toma el agua en función de la posición de las curvas y las elevaciones del terreno. Esto se logró por medio del software Google Earth y CivilCAD con el procedimiento descrito a continuación:

- 1) Se coloca una serie de puntos en Google Earth trazando el perímetro de la zona de la cual se requiere extraer la información topográfica lo cual se percibe en la figura 35



Figura 35. Trazado del perímetro de la zona.

Fuente: Google Earth, 2017

- 2) Seguidamente, por medio de CivilCAD se sustraen los puntos de Google Earth.

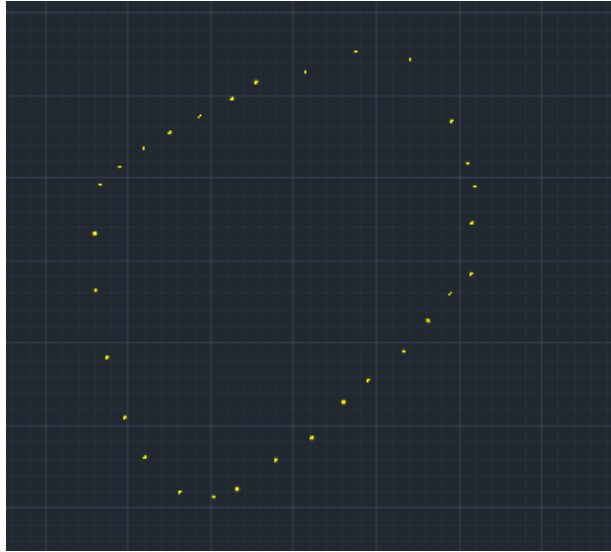


Figura 36. Serie de puntos importados de Google Earth

Fuente: CivilCAD, 2017

- 3) Estos puntos se unen para conseguir una poligonal cerrada; con la que obtendremos la malla topográfica y finalmente las curvas de nivel.



Figura 37. Poligonal cerrada

Fuente: CivilCAD, 2017

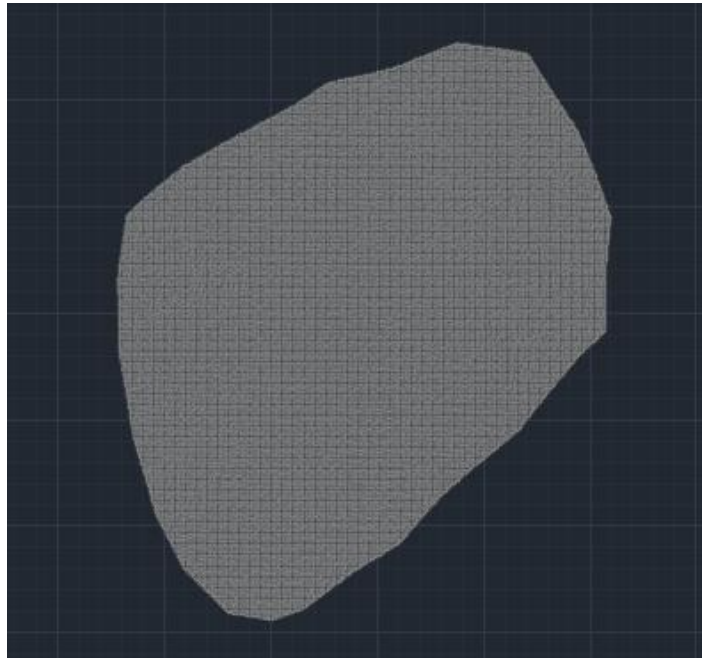


Figura 38. Malla Topográfica

Fuente: CivilCAD, 2017

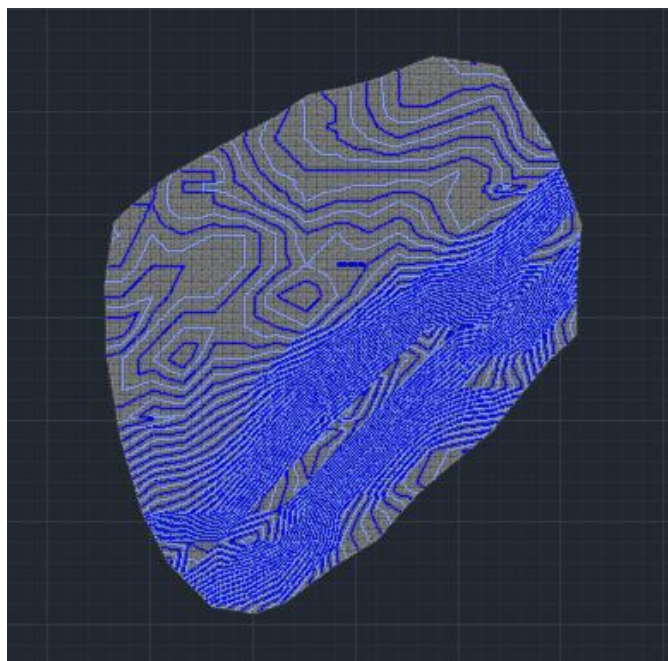


Figura 39. Curvas de nivel

Fuente CiviCAD, 2017

- 4) Una vez obtenidas las elevaciones de la zona, se procede a trazar el área que aporta la escorrentía al sistema de alcantarillado a diseñar. Al observar las curvas de nivel, es posible determinar hacia qué dirección se dirigirá la escorrentía.

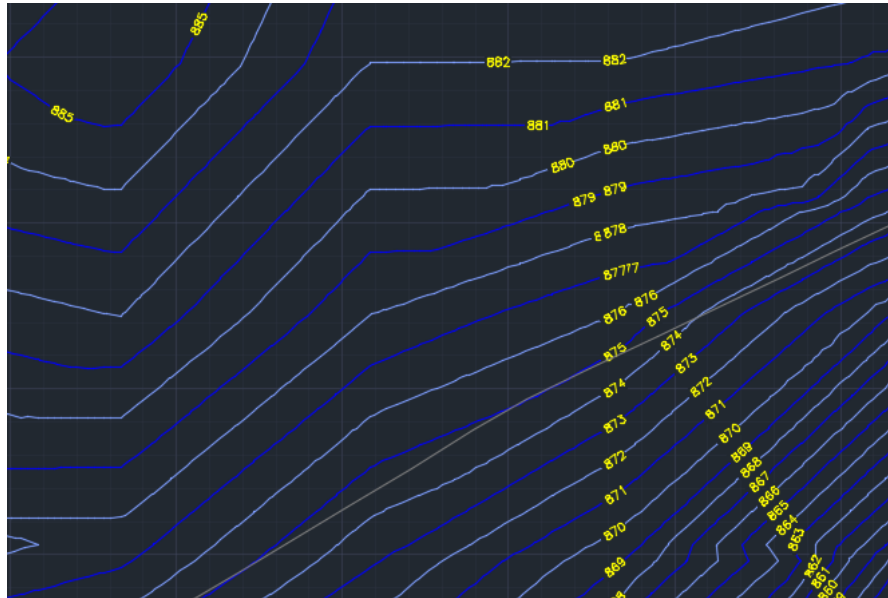


Figura 40. . Dirección del escurrimiento

Fuente: CivilCAD, 2017

CivilCAD posee un comando que calcula el área de polígonos irregulares; con este determinaron las áreas correspondientes a cada tipo de superficie.

El plan regulador de la Municipalidad de Belén restringe la cobertura de cada lote a un 0.7 del área del mismo. Esto quiere decir que el área urbana máxima no debe ser mayor al 70% del área tributaria total. Dicho factor debe tomarse en cuenta para realizar los diseños a futuro, donde se considera que el área tributaria llegó al porcentaje máximo de cobertura urbana.

2.4.3.2 Coeficiente de escorrentía

Existen diversos tipos de métodos para encontrar el coeficiente de escorrentía, algunos de los cuales se encuentran explicados en la sección 1.2.5.10. Para este proyecto, en particular, se utilizaron los coeficientes de escorrentía de las figuras 22 y 23.

Para la zona urbana que está compuesta por techos, calles y zonas verdes; se utilizó el valor de C para una zona comercial central o residencial multifamiliar unida, por lo tanto, $C=0.75$, según la figura 23.

Para las zonas compuestas por pastos, vegetación ligera y árboles dispersos; se utilizó un $C=0.35$, según la figura 22.

El coeficiente promedio resultante se determina con la ecuación 35 y el resultado, se utiliza para la determinación de los caudales actuales y futuros. Los porcentajes de zonas con edificios y calles, y los terrenos con vegetación son distintos para la situación actual y futura; por esta razón, se utiliza un C promedio independiente para el cálculo de los caudales futuros y actuales.

2.4.3.3 Intensidad de Lluvia

Para el cálculo de esta variable, se utilizó la ecuación 22 explicada en el Capítulo I, esta permite determinar la intensidad de lluvia para la zona de San José, en función del tiempo de concentración y el periodo de retorno del área de drenaje. Se utilizó la ecuación para la provincia de San José, debido a que el texto de Villón no proporciona una específica para la provincia de Heredia, y las características de las cuencas de ambas provincias no son demasiado diferentes.

El tiempo de concentración para una estructura de drenaje se divide en dos componentes, tal y como se explica en el Capítulo I.

El cálculo de la primera componente se realizó por medio de la ecuación 29, utilizando la distancia y diferencia de elevación promedio entre tragantes. Es importante mencionar que si dicha componente resulta menor a 10 minutos, se utilizará este valor mínimo.

La segunda componente se calculó con la ecuación 27. La velocidad de la tubería es la máxima permitida, es decir, 5 m/s según lo que norma el reglamento del AyA.

Por último, el tiempo de concentración del drenaje se calculó haciendo uso de la ecuación 33, una vez calculadas las dos componentes.

El cálculo de los caudales se realizó para cuatro periodos de diseño distintos, los cuales fueron determinados por la Municipalidad de Belén y son 10, 15, 25 y 50 años. Se realizaron varias iteraciones para conseguir un resultado óptimo cada periodo de retorno.

No se debe confundir el periodo de diseño con el período de retorno. El periodo de retorno se refiere a la probabilidad de que cierto evento se dé, mientras que el de diseño se refiere al periodo en que se realizará la tormenta máxima en la zona de diseño.

2.4.4 Planta y Perfil del tramo a analizar

Para diseñar el alcantarillado pluvial, se utilizó el software CivilCAD, con el que se dibujó la vista en planta a lo largo del recorrido de Calle Potrerillo. Con la información del levantamiento realizado por Grupo JCB S.A., se logró ubicar la línea central de la carretera, los anchos de calle y acera, con los cuales se dibujó el trazado de planta del tramo, luego se dibujaron los estacionamientos en intervalos de 20m. También se ubicaron los ríos y quebradas que atraviesan la zona; el río Virilla al costado sur y el río Pirro al costado norte.

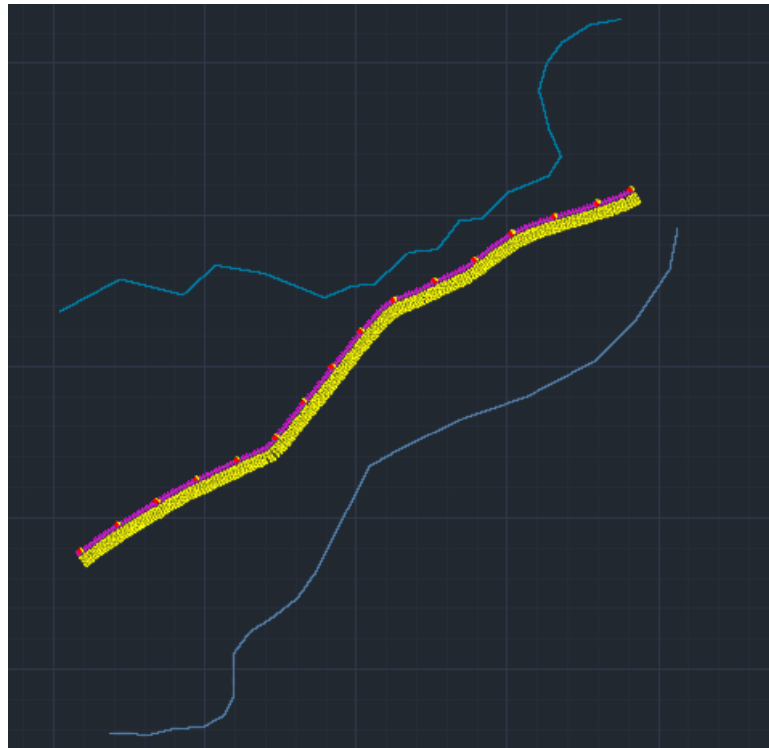


Figura 41. Trazado en planta del proyecto

Fuente: CivilCAD, 2017

Los diversos elementos del sistema de drenaje fueron ubicados por medio de coordenadas geográficas. Su colocación fue cambiando

conforme avanzaba el diseño, al verificar la capacidad de las secciones y de esta forma se determinó su ubicación final.

Por otro lado, la topografía de la zona cumple un papel muy importante para el diseño del alcantarillado. Es indispensable tener los datos de pendientes, el trazo en planta, el recorrido de los ríos, entre otros aspectos.

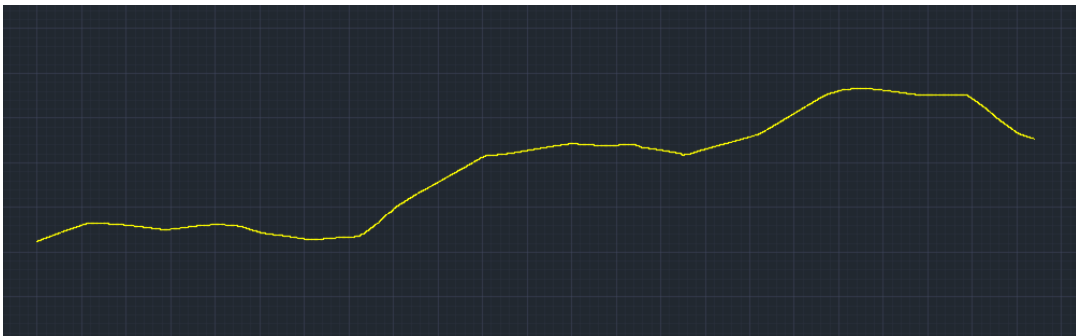


Figura 42. Perfil del terreno

Fuente: CivilCAD, 2017

2.4.5 Ubicación de los elementos del sistema de drenaje

Para lograr ubicar cada elemento que forma parte del sistema de alcantarillado pluvial, es necesario cumplir con lo que se estipula en el Reglamento de Normas Técnicas del AyA. En la sección 1.2.5.11 se resume lo normado para el alcantarillado pluvial, como diámetros mínimos de tubería, velocidad máxima, longitudes máximas entre tragantes y pozos, entre otros. Para las condiciones correspondientes a esta sección se debe cumplir lo siguiente:

$$Q_{\text{diseño}} < Q_{\text{tubería}}$$

$$V_{\text{máxima}} > V_{\text{tubería}}$$

$$F_{\text{tractiva mínima}} < F_{\text{tractiva diseño}}$$

La ubicación de los pozos y tragantes se realizó con el trazado en planta, manteniendo los parámetros técnicos de diseño tales como la distancia entre tragantes y pozos y las profundidades mínimas y máximas. Uno de los factores determinantes en la ubicación de los elementos fue la altura de pozos y tragantes, pues también requieren condiciones mínimas que se deben

cumplir y que afectan considerablemente en el diseño pues, conforme a la profundidad, se determinan las pendientes de las tuberías.

En síntesis, la localización de los elementos del sistema de alcantarillado se propuso conforme a la capacidad de trasiego de caudal de cada sección, y a los requerimientos mínimos establecidos.

2.4.6 Diseño hidráulico de las secciones

Uno de los objetivos de este proyecto es proponer el tamaño de las secciones de los elementos del alcantarillado pluvial, tomando en cuenta las condiciones actuales y futuras de la zona, sin apartarse de la realidad.

Una vez obtenidos el caudal de diseño y el trazado en planta, la ubicación de los ríos y los datos topográficos, es posible comenzar a diseñar y proponer secciones de tuberías y canales. Tales diseños se realizaron con la teoría de la sección 1.2.5.12 y sus respectivas ecuaciones.

- Las características geométricas de la sección se calcularon por medio de las ecuaciones de la figura 26, para la sección circular; en el caso de las tuberías.
- El caudal que cada tubería es capaz de transportar se determinó por medio de la ecuación 37; la ecuación de Manning. La capacidad de la tubería luego debe ser comparada con el caudal de diseño para asegurarse que la sección no tenga problemas para transportar el agua de lluvia.
- El coeficiente de rugosidad, para las alcantarillas, se determinó por medio de la figura 27. Como el material a utilizar es concreto, el coeficiente de rugosidad normal es 0.013 para una alcantarilla de este material con conexiones y algo de basuras. Se determinó este coeficiente para tomar en cuenta el caso más desfavorable. Para el canal, se determinó un coeficiente de 0.014, según la Tabla 1, para canales de concreto con terminación ordinaria.
- El esfuerzo cortante medio o fuerza tractiva se calculó con la fórmula 38, con el resultado, podemos determinar cuáles son las velocidades mínimas que pueden provocar alguna sedimentación, que resulta en el desgaste acelerado de las paredes de la tubería.

- La velocidad de la tubería se estimó por la ecuación 9. Para que la sección cumpla la velocidad, no debe ser mayor a 5 m/s, y la velocidad mínima debe ser la que dé como resultado una fuerza tractiva mínima de 0.1 kg/m².
- Para identificar si existe la presencia de flujo crítico, subcrítico o supercrítico, se determinó el número de Froude, por medio de la ecuación 41.

Para los detalles constructivos, tamaño de cabezales, parámetros de tuberías, entre otros aspectos, se va a utilizar el Manual de Diseños Estándar (DE-2011) propuesto por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica. En este se disponen una serie de diseños estándar para diversos tipos de estructuras conexas de carreteras. A continuación, se describe una lista de los diseños utilizados:

- Sección 602: Contiene diseños respectivos al drenaje y alcantarillado pluvial. Utilizados los parámetros definidos en esta sección, se obtendrán dimensiones para las terminaciones de alcantarillas de concreto y dimensiones para las respectivas instalaciones de tuberías.
- Sección 601: Esta sección dispone de diseños estándar para los cabezales de concreto.
- Sección 604: Corresponde a los diseños para dimensiones de las cajas de registro, tragantes y pozos de registro.
- Sección 615: Contiene diseños estándar para la construcción de cordón y cuneta, cordón de carretera, entradas a aceras y otros.

Con este manual se espera conseguir un diseño más completo del sistema de drenaje pluvial, ya que estas dimensiones son importantes de incluir en la propuesta final.

Capítulo III Análisis de los Resultados

1. Caudal máximo de diseño

1.1 Área tributaria

Realizando paso a paso el proceso descrito en el capítulo anterior respecto al cálculo del área tributaria, se logró obtener lo siguiente:

- a) Para la situación actual, el área urbanizada abarca aproximadamente un 62,3% del área tributaria total, la tabla presenta los resultados obtenidos del análisis de la topografía de la zona.

Tabla 5. Áreas y tipos de cobertura actuales.

Área tributaria (ha)	
Pastos, follaje, árboles	5,35
Edificios, calles, zonas verdes	8,85
Área total=	14,2

Fuente: Elaboración propia

- b) Para representar la situación a futuro, se aumenta el porcentaje de cobertura actual por un 70%; el máximo permitido, según el Plan Regulador del Cantón de Belén, y se obtuvieron los resultados de la tabla 7:

Tabla 6. Áreas y tipos de coberturas proyectados

Área tributaria (ha)	
Pastos, follaje, árboles	4,67
Edificios, calles, zonas verdes	9,53
Área total=	14,2

Fuente: Elaboración propia

Al observar las tablas anteriores, es posible declarar que solamente se requieren 0,68 hectáreas para alcanzar el máximo de cobertura permitido.

La figura 43 muestra un dibujo realizado en AutoCAD del área que tributa sobre el sistema de alcantarillado de la carretera. La línea magenta representa el área tributaria que corresponde a los edificios, calles y las zonas verdes, mientras que la línea verde representa el área tributaria total.



Figura 43. Área tributaria

Fuente: CivilCAD, 2017

1.2 Coeficiente de escorrentía

Una vez determinada el área tributaria y los tipos de cobertura correspondientes, se obtuvieron los resultados que se presentan en las tablas. La tabla 8 presenta los resultados de C para la situación actual y la tabla 9 para la futura.

Tabla 7. Cálculo de C ponderado actual

Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la situación actual			
Uso de suelo	Área (ha)	C	AxC
Pastos, follaje, árboles	5,35	0,35	1,8725
Edificios, calles, zonas verdes	8,85	0,75	6,6375
Total	14,2		8,51
C Ponderado		0,60	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Cálculo de C ponderado proyectado

Áreas de aporte y coeficientes de escorrentía para la situación futura			
Uso de suelo	Área (ha)	C	AxC
Pastos, follaje, árboles	4,67	0,35	1,63
Edificios, calles, zonas verdes	9,53	0,75	7,15
Total	14,20		8,78
C Ponderado		0,62	

Fuente: Elaboración propia

1.3 Tiempo de concentración del drenaje

Los resultados para el tiempo de concentración se presentan en la tabla 10. En esta se observa que la primera componente es menor a 10 minutos, por lo tanto, se utiliza este valor mínimo establecido.

Tabla 9. Tiempo de concentración del drenaje

t1(min)	t2 (min)	tc (min)
2,35	3,69	13,69

Fuente: Elaboración propia

1.4 Intensidad de lluvia

Para determinar la intensidad de lluvia que se aplicará al cálculo del caudal de diseño, se tiene el tiempo de concentración del drenaje, indicado en el punto anterior y el período de diseño. En la tabla 11, se presentan los resultados obtenidos para los cuatro periodos de retorno independientes.

Tabla 10. Intensidades de lluvia máxima obtenidas

Periodo de diseño	Intensidad de lluvia máxima (mm/hr)
10	118,55
15	123,82
25	130,46
50	139,47

Fuente: Elaboración propia

1.5 Caudales de diseño

Una vez determinadas todas las variables requeridas para utilizar el método racional, se obtuvieron los resultados de los caudales de diseño mostrados en las siguientes tablas. En la tabla 12, se presentan los caudales de diseño para los diferentes periodos de retorno de la situación actual, mientras que en la tabla 13; se presentan los caudales proyectados a futuro.

Tabla 11. Caudales máximos de diseño actuales

Período de retorno	Q de diseño (m³/s)
10	0,175
15	0,183
25	0,193
50	0,206

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Caudales máximos de diseño proyectados

Período de retorno	Q de diseño (m³/s)
10	0,181
15	0,189
25	0,199
50	0,213

Fuente: Elaboración propia

2. Inspecciones realizadas en el tramo a analizar

Para lograr comprender de manera más objetiva el problema que actualmente afecta al camino de Calle Potrerillo, fue necesario realizar inspecciones en campo. Esencialmente, se realizaron dos inspecciones; una para observar el comportamiento geométrico de la carretera, y otra, para determinar los elementos del alcantarillado pluvial que provocan las inundaciones en la zona.

Oportunamente, el clima que se tenía el día de la segunda inspección era lluvioso, por lo tanto, se consiguió observar exactamente el comportamiento de la escorrentía a través de la estructura de drenaje. De la observación en campo, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 13. Observaciones generales de los elementos del alcantarillado

Elemento	Condición general	Efecto
Tragantes	Gran parte de los tragantes se encuentran dispuestos de manera incorrecta. Además muchas rejillas de tragantes se encuentran obstruidas con desechos sólidos.	La escorrentía no logra ser captada y se empoza sobre la carpeta asfáltica.
Cordón y caño	En algunos tramos, el cordón y caño se encuentran obstruidos por desechos sólidos. Por otro lado, la mayor parte del lado derecho de la vía, y finalizando el lado izquierdo no dispone del cordón y caño.	El flujo de agua de lluvia no circula apropiadamente y se forman empozamientos.
Alcantarillas	Parte de los tramos en alcantarillas se encuentran obstruidos por desechos sólidos como basuras, arenas y grava. También existen alcantarillas en mal estado desgastadas por el agua de lluvia.	Daño prematuro de las tuberías. La retención del flujo provoca que el agua busque otros caminos para salir, ya sea por grietas en la tubería o por las mismas estructuras de captación.

Fuente: Elaboración propia

Es importante tomar en cuenta que las observaciones se realizaron en condiciones de lluvia, mas no en época lluviosa. Es evidente que en la temporada de lluvias, las inundaciones crecen considerablemente. También se debe mencionar que la precipitación al momento de la visita poseía una intensidad moderada. El alcantarillado pluvial que actualmente posee la carretera no es capaz de trasegar la precipitación máxima de diseño, por esta razón, es necesario invertir lo más pronto posible para mejorarlo.

Dentro del anexo A se introdujeron fotografías y anotaciones muy importantes para el análisis de la situación que actualmente se da en el sistema de drenaje pluvial.

3. Información del levantamiento topográfico

Ya que se dispone de información topográfica incompleta, se procedió a desarrollar una propuesta de elevaciones, basados en las curvas de nivel y el perfil del terreno tomados de CivilCAD. El perfil del terreno resultante se presenta en la siguiente figura.

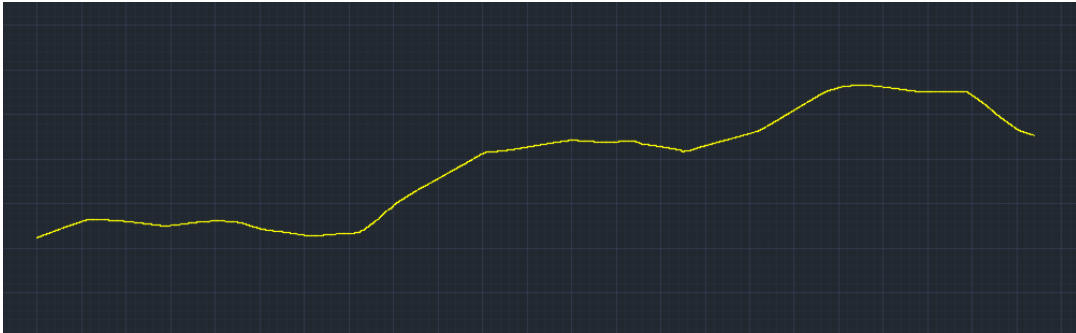


Figura 44. Perfil del terreno

Fuente: CivilCAD, 2017

Seguidamente, se propusieron las pendientes para la rasante de tal forma que no existiera demasiada diferencia entre el perfil del proyecto y el perfil de terreno. La tabla 15 presenta los resultados obtenidos.

Tabla 14. . Elevaciones y pendientes propuestas

Estacionamiento	Extremo de la rasante		Pendiente de rasante propuesta (%)
	Derecho (m)	Izquierdo (m)	
0+645	82,128	82,130	0,86
0+650	82,171	82,173	0,86
0+655	82,214	82,216	0,86
0+660	82,257	82,259	0,86
0+665	82,300	82,302	0,86
0+670	82,343	82,345	0,86
0+675	82,386	82,388	0,86
0+680	82,429	82,431	0,86
0+685	82,472	82,474	0,86
0+690	82,515	82,517	0,86
0+695	82,558	82,560	0,86
0+700	82,601	82,603	0,86
0+705	82,644	82,646	0,86
0+710	82,687	82,689	0,86
0+715	82,730	82,732	0,86
0+720	82,773	82,775	0,86
0+725	82,816	82,818	0,86
0+730	82,859	82,861	0,86
0+735	82,902	82,904	0,86
0+740	82,945	82,947	0,86
0+745	82,988	82,990	0,86
0+750	83,031	83,033	0,86
0+755	83,074	83,076	0,86
0+760	83,117	83,119	0,86
0+765	83,160	83,162	0,86
0+770	83,203	83,205	0,86
0+775	83,246	83,248	0,86
0+780	83,289	83,291	0,86
0+785	83,332	83,334	0,86
0+790	83,375	83,377	0,86

Estacionamiento	Extremo de la rasante		Pendiente de rasante propuesta (%)
	Derecho (m)	Izquierdo (m)	
0+795	83,418	83,420	0,86
0+800	83,461	83,463	0,86
0+805	83,504	83,506	0,86
0+810	83,547	83,549	0,86
0+815	83,590	83,592	0,86
0+820	83,633	83,635	0,86
0+825	83,676	83,678	0,86
0+830	83,719	83,721	0,86
0+835	83,762	83,764	0,86
0+840	83,805	83,807	0,86
0+845	83,848	83,850	0,86
0+850	83,891	83,893	0,86
0+855	83,934	83,936	0,86
0+860	83,977	83,979	5,42
0+865	84,248	84,250	5,42
0+870	84,519	84,521	5,42
0+875	84,790	84,792	5,42
0+880	85,061	85,063	5,42
0+885	85,332	85,334	5,42
0+890	85,603	85,605	5,42
0+895	85,874	85,876	5,42
0+900	86,145	86,147	5,42
0+905	86,416	86,418	5,42
0+910	86,687	86,689	5,42
0+915	86,958	86,960	5,42
0+920	87,229	87,231	5,42
0+925	87,500	87,502	1,42
0+930	87,571	87,573	1,42
0+935	87,642	87,644	1,42
0+940	87,713	87,715	1,42
0+945	87,784	87,786	1,42

Estacionamiento	Extremo de la rasante		Pendiente de rasante propuesta (%)
	Derecho (m)	Izquierdo (m)	
0+950	87,855	87,857	1,42
0+955	87,926	87,928	1,42
0+960	87,997	87,999	1,42
0+965	88,068	88,070	1,42
0+970	88,139	88,141	1,42
0+975	88,210	88,212	1,42
0+980	88,281	88,283	1,42
0+985	88,352	88,354	1,42
0+990	88,423	88,425	1,42
0+995	88,494	88,496	1,42
1+000	88,565	88,567	1,42
1+005	88,636	88,638	1,42
1+010	88,707	88,709	1,03
1+015	88,759	88,761	1,03
1+020	88,811	88,813	1,03
1+025	88,862	88,864	1,03
1+030	88,914	88,916	1,03
1+035	88,966	88,968	1,03
1+040	89,018	89,020	1,03
1+045	89,069	89,071	1,03
1+050	89,121	89,123	1,03
1+055	89,173	89,175	1,03
1+060	89,225	89,227	1,03
1+065	89,276	89,278	1,03
1+070	89,328	89,330	1,03
1+075	89,380	89,382	1,03
1+080	89,432	89,434	1,03
1+085	89,483	89,485	1,03
1+090	89,535	89,537	1,03
1+095	89,587	89,589	1,03

Estacionamiento	Extremo de la rasante		Pendiente de rasante propuesta (%)
	Derecho (m)	Izquierdo (m)	
1+100	89,639	89,641	1,03
1+105	89,690	89,692	1,03
1+110	89,742	89,744	1,03
1+115	89,794	89,796	0,95
1+120	89,841	89,843	0,95

Fuente: Elaboración propia

4. Propuesta de diseño para el alcantarillado pluvial

A continuación, se presenta una serie de tablas resumen con los resultados obtenidos. En estas se presentan las ubicaciones en planta y perfil de los elementos del alcantarillado y los diámetros de tubería para tragantes y pozos de registro.

Al realizar las propuestas, se procuró no variar considerablemente las localizaciones, estacionamientos y profundidades de los diversos elementos, para determinar con exactitud cómo se comportan estos y realizar las modificaciones pertinentes para lograr un diseño más eficiente.

4.1 Propuesta de ubicación de los tragantes

- Para los periodos de diseño de 10, 15, 25 y 50 años

Tabla 15. Tragantes a colocar (situación actual y futura)

Tragante	Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0+005	9°58'5.51"	84°11'59.06"
2	0+080	9°58'6.91"	84°11'57.03"
3	0+155	9°58'8.14"	84°11'54.91"
4	0+230	9°58'9.31"	84°11'52.74"
5	0+305	9°58'10.34"	84°11'50.51"
6	0+385	9°58'11.51"	84°11'48.44"
7	0+455	9°58'13.39"	84°11'46.88"
8	0+530	9°58'15.27"	84°11'45.32"
9	0+605	9°58'17.17"	84°11'43.76"
10	0+680	9°58'18.87"	84°11'41.97"
11	0+755	9°58'19.84"	84°11'39.70"
12	0+830	9°58'20.96"	84°11'37.55"
13	0+905	9°58'22.38"	84°11'35.53"
14	0+980	9°58'23.28"	84°11'33.22"
15	1+055	9°58'23.98"	84°11'30.86"
16	1+115	9°58'24.66"	84°11'29.05"

Fuente: Elaboración propia

4.2 Propuesta de ubicación de los pozos de registro

- Para los periodos de diseño de 10, 15, 25 y 50 años

Tabla 19. Pozos a colocar (situación actual y futura)

Pozo de registro	Estación	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0+005	9°58'5.44"	84°11'59.01"
2	0+080	9°58'6.86"	84°11'57.00"
3	0+155	9°58'8.07"	84°11'54.86"
4	0+230	9°58'9.24"	84°11'52.71"
5	0+305	9°58'10.28"	84°11'50.48"
6	0+360	9°58'10.98"	84°11'48.82"
7	0+385	9°58'11.47"	84°11'48.39"
8	0+455	9°58'13.35"	84°11'46.83"
9	0+530	9°58'15.24"	84°11'45.27"
10	0+605	9°58'17.12"	84°11'43.70"
11	0+645	9°58'18.06"	84°11'42.80"
12	0+680	9°58'18.77"	84°11'41.91"
13	0+755	9°58'19.77"	84°11'39.67"
14	0+830	9°58'20.87"	84°11'37.48"
15	0+905	9°58'22.31"	84°11'35.49"
16	0+980	9°58'23.17"	84°11'33.19"
17	1+055	9°58'23.90"	84°11'30.84"
18	1+115	9°58'24.59"	84°11'29.01"

Fuente: Elaboración propia

Las distancias y profundidades de tragantes propuestas cumplen con las normas establecidas en la Reglamentación Técnica para el diseño y construcción de condominios y fraccionamientos.

5. Diámetros de tubería

5.1 Tuberías que unen tragantes con pozos

En la tabla 17 se muestran los diámetros de tubería obtenidos para cada tragante.

Tabla 16. Diámetros de tuberías (actuales y proyectadas)

Tubería	T= 10 y 15 años	T= 25 y 50 años
	D(m)	D(m)
T1-P1	0,4	0,4
T2-P2	0,4	0,4
T3-P3	0,4	0,4
T4-P4	0,4	0,4
T5-P5	0,4	0,4
T6-P7	0,4	0,4
T7-P8	0,4	0,4
T8-P9	0,4	0,4
T9-P10	0,4	0,4
T10-P12	0,4	0,5
T11-P13	0,4	0,4
T12-P14	0,4	0,5
T13-P15	0,4	0,4
T14-P16	0,4	0,5
T15-P17	0,4	0,4
T16-P18	0,4	0,4

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los diámetros de tubería difieren muy poco entre sí para cada periodo de retorno y para las condiciones actuales y proyectadas a futuro. Esto se da por diferentes razones, una de ellas, como se mencionó anteriormente, es que el porcentaje de cobertura alcanzado actualmente, casi se acerca al máximo permitido por el Plan Regulador del Cantón de Belén.

Estos diámetros propuestos cumplen con la capacidad requerida para trasegar los caudales máximos de diseño. Además, cumplen con otros parámetros mínimos y máximos como la velocidad de tubería y la fuerza tractiva, que están normados en la reglamentación técnica.

5.2 Tuberías que unen los pozos de registro

Tabla 17. Diámetros de tubería para los pozos de registro

Tubería	T=10		T=15		T= 25		T=50	
	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro	Actual	Futuro
	D(m)	D(m)	D(m)	D(m)	D(m)	D(m)	D(m)	D(m)
P1-P2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P2-P3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P3-P4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P4-P5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P5-P6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P6-P7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P7-P8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P8-P9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P9-P10	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P10-P11	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P11-P12	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P12-P13	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P13-P14	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
P14-P15	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
P15-P16	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
P16-P17	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
P17-P18	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5

Fuente: Elaboración propia

En el caso de los pozos, se da una situación similar a la de las tuberías de tragante-pozo, pues los diámetros no varían en gran dimensión y se mantiene casi constante a lo largo del recorrido. Sin embargo, se pueden observar pequeñas variaciones en ciertos estacionamientos donde el diámetro sí cambia. Es necesario tomar en cuenta estas diferencias al escoger la propuesta que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Las siguientes tablas muestra de una forma más clara el resultado de los diámetros de tubería para la entrada y la salida de los pozos de registro.

Tabla 18. Diámetros de entrada y salida de los pozos

Pozo de registro	T=10			
	Actual		Futuro	
	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	50	50	50
4	50	50	50	50
5	50	50	50	50
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
8	50	50	50	50
9	50	50	50	50
10	50	50	50	50
11	50	50	50	50
12	40	50	50	50
13	40	40	40	50
14	40	40	40	40
15	40	40	40	40
16	40	40	40	40
17	40	40	40	40
18	40	40	40	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Diámetros de entrada y salida de los pozos

Pozo de registro	T=15			
	Actual		Futuro	
	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	50	50	50
4	50	50	50	50
5	50	50	50	50
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
8	50	50	50	50
9	50	50	50	50
10	50	50	50	50
11	50	50	50	50
12	50	50	50	50
13	40	50	50	50
14	40	40	40	50
15	40	40	40	40
16	40	40	40	40
17	40	40	40	40
18	40	40	40	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Diámetros de entrada y salida de los pozos

çPozo de registro	T= 25			
	Actual		Futuro	
	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	50	50	50
4	50	50	50	50
5	50	50	50	50
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
8	50	50	50	50
9	50	50	50	50
10	50	50	50	50
11	50	50	50	50
12	50	50	50	50
13	50	50	50	50
14	40	50	40	50
15	40	40	40	40
16	40	40	40	40
17	40	40	40	40
18	40	40	40	40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Diámetros de entrada y salida de los pozos

Pozo de registro	T=50			
	Actual		Futuro	
	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)	Dentrada (cm)	Dsalida (cm)
1	50	50	50	50
2	50	50	50	50
3	50	50	50	50
4	50	50	50	50
5	50	50	50	50
6	50	50	50	50
7	50	50	50	50
8	50	50	50	50
9	50	50	50	50
10	50	50	50	50
11	50	50	50	50
12	50	50	50	50
13	50	50	50	50
14	50	50	50	50
15	50	50	50	50
16	50	50	50	50
17	50	50	50	50
18	50	50	50	50

Fuente: Elaboración propia

De igual forma, para las tuberías pozo a pozo se tomaron las consideraciones necesarias para que se cumplieran los parámetros como la velocidad de tubería, fuerza tractiva y capacidad de caudal.

5.3 Cordón y caño

- Períodos de retorno de 10, 15, 25 y 50 años actuales y proyectados

Tabla 22. Diámetro de tubería del caño circular

Tubería	D(m)
Desfogue	0,50
T1-T2	0,50
T2-T3	0,50
T3-T4	0,50
T4-T5	0,50
T5-T6	0,50
T6-T7	0,50
T7-T8	0,50
T8-T9	0,50
T9-T10	0,50
T10-T11	0,50
T11-T12	0,50
T12-T13	0,50
T13-T14	0,50
T14-T15	0,50
T15-T16	0,50

Fuente: Elaboración propia

Además, en las siguientes tablas se presentan los caudales que se acumulan en cada pozo de registro.

Tabla 23. Caudal acumulado en los pozos (T=10 y 15)

Tragante	Pozo	Caudales (m ³ /s)		
		Qtragante	Q cordón y caño	Q total
1	1	0,42	0,48	0,90
2	2	0,44	0,64	1,08
3	3	0,34	0,31	0,65
4	4	0,40	0,52	0,92
5	5	0,33	0,59	0,92
6	7	0,54	0,70	1,24
7	8	0,40	0,81	1,21
8	9	0,40	0,31	0,71
9	10	0,32	0,31	0,63
10	12	0,19	0,36	0,55
11	3	0,32	0,36	0,68
12	14	0,19	0,73	0,92
13	15	0,29	0,61	0,90
14	16	0,19	0,42	0,61
15	17	0,31	0,40	0,71
16	18	0,30		0,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Caudal acumulado en los pozos (T=25 y 50)

Tragante	Pozo	Caudales (m ³ /s)		
		Qtragante	Q cordón y caño	Q total
1	1	0,42	0,48	0,90
2	2	0,44	0,64	1,08
3	3	0,34	0,31	0,65
4	4	0,40	0,52	0,92
5	5	0,33	0,59	0,92
6	7	0,54	0,70	1,24
7	8	0,40	0,81	1,21
8	9	0,40	0,31	0,71
9	10	0,32	0,31	0,63
10	12	0,34	0,36	0,70
11	3	0,32	0,36	0,68
12	14	0,34	0,73	1,08
13	15	0,29	0,61	0,90
14	16	0,34	0,42	0,77
15	17	0,31	0,40	0,71
16	18	0,30		0,30

Los caudales acumulados no son lo suficientemente grandes como para que se requiera proponer alguna ruta de desfogue pluvial adicional.

El agua de lluvia que se trasiega hacia el desfogue, que en este caso se trata del canal perteneciente a la ruta nacional 147, será finalmente descargado al río Virilla. En la siguiente tabla, se muestran las crecientes del río Virilla y los caudales que serían drenados a él por medio del alcantarillado pluvial. Se debe recordar que no se tienen en cuenta los caudales que trasiega la estructura de drenaje de la ruta 147.

Tabla 25. Caudales aportados al río Virilla

Período de retorno (años)	Caudales (m ³ /s)		%
	Q río Virilla	Q aportado	
10	398	12,93	3,25
15	453,5	12,93	2,85
25	540,7	13,39	2,48
50	699	13,39	1,92

Fuente: Elaboración propia

Una de las causas principales que generan problemas de drenaje en la época lluviosa es que en muchas zonas del tramo de carretera no existen elementos de cordón y caño. Además, en parte del camino no se presentan tragantes, aun cuando estos sitios son susceptibles a inundaciones. Al encontrarse dispuestos incorrectamente los tragantes, el acceso del agua se restringe en cierta cantidad y provoca que se acumule en la calzada o acera.

Otra causa identificada se relaciona con el crecimiento urbano de la zona. Consecuentemente, al aumentar el porcentaje de superficies de concreto, techos y asfalto, la capacidad de infiltración de los suelos disminuye y aumenta la escorrentía. Posiblemente, no se consideró esta situación al realizar un diseño del alcantarillado de la carretera y las consecuencias se evidenciaron con el tiempo.

La propuesta de diseño presenta varias pendientes desde el primer pozo hasta el último. La pendiente mínima alcanzó un valor de 0.4%, y la máxima un 4.84%. Dichas pendientes dependen de las profundidades de los

pozos de registro y de los tragantes. El comportamiento del flujo de caudal es influenciado en gran parte por la pendiente de la tubería por la que este se transporta, por esta razón, es importante ser cuidadoso al determinarlas en el diseño.

Para la propuesta, se procuró respetar lo estipulado en el reglamento de diseño y construcción de condominios y fraccionamientos. En la siguiente tabla, se muestran los valores promedio de profundidad de tragantes y profundidad las tuberías de los pozos de registro propuestos, comparados con los valores mínimos y máximos reglamentarios.

Tabla 26. Profundidades promedio de tragantes y pozos

Elemento	Profundidad promedio (m)	Profundidad normada (m)	
		Mínima	Máxima
Tragante	2,1	0,9	3,6
Tubería	2,2	1,2	3,6

Fuente: Elaboración propia

Además, en la siguiente tabla se observan los metros lineales totales de tubería que se deben colocar. Con estos resultados se puede determinar con mayor comodidad cuál es la propuesta que se adapta mejor a la realidad, o en otras palabras, cuál es la que ofrece una solución eficiente para el problema actual.

Tabla 27. Metros lineales de tubería a colocar

Tubería	Longitud total (m)
Tragante-pozo	40,4
Pozo-Pozo	1109,2
Caño izquierdo	1127,9
Caño derecho	1119,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Longitud total de tubería por diámetro

Periodo de diseño	Propuesta	Longitud total a cubrir (m)	
		D= 50 cm	D= 40 cm
10	Actual	1802,7	1594,2
	Futura	1877,6	1519,4
15	Actual	1860,2	1519,4
	Futura	1934,9	1444,6
25	Actual	1945,7	1433,8
	Futura	1945,7	1433,8
50	Actual	2230,4	1149,1
	Futura	2230,4	1149,1

Fuente: Elaboración propia

Otro factor que se debe tomar en cuenta para analizar la eficiencia de la propuesta es el porcentaje de caudal que se trasiega por las tuberías del sistema de drenaje pluvial. A continuación, se muestran las tablas con los resultados obtenidos para las diferentes configuraciones de tuberías. En estas se observa el periodo de diseño y los respectivos porcentajes para cada diámetro de tubería.

Tabla 29. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías tragante-pozo

Periodo de diseño	Diámetro de tubería (cm)	Capacidad de trasiego del caudal (%)	
		Actual	Futuro
10	50	-	-
	40	52,1	53,7
15	50	-	-
	40	54,4	56,1
25	50	56,2	58,0
	40	52,0	53,7
50	50	60,1	62,0
	40	55,6	57,4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías pozo-pozo

Periodo de diseño	Diámetro de tubería (cm)	Capacidad de trasiego del caudal (%)	
		Actual	Futuro
10	50	34,3	36,6
	40	69,5	67,7
15	50	37,0	39,1
	40	68,6	65,8
25	50	39,9	41,2
	40	67,2	69,4
50	50	41,9	43,3
	40	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Porcentaje de capacidad de caudal para tuberías de caño circular

Periodo de diseño	Diámetro de tubería (cm)	Capacidad de trasiego del caudal (%)	
		Actual	Futuro
10	50	31,2	32,2
	40	55,0	56,8
15	50	32,6	33,6
	40	57,5	59,3
25	50	34,3	35,4
	40	60,6	62,5
50	50	36,7	37,9
	40	64,7	66,8

Fuente: Elaboración propia

De las tablas anteriores, se hace la observación de que, en la mayoría de los casos, conforme aumenta el periodo de diseño, el porcentaje de caudal trasegado se incrementa.

Capítulo IV: Propuesta

1. Cálculo del caudal máximo de diseño

El cálculo de los caudales máximos de diseño se realizó mediante el procedimiento descrito en la sección 2.4.3 del Capítulo 2.

Tabla 32. Cálculo de la intensidad de lluvia máxima

Tiempo de retorno (años)	Tc	Intensidad de lluvia máxima (mm/hr)
10	13,69	118,55
15	13,69	123,82
25	13,69	130,46
50	13,69	139,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Caudales máximos de diseño actuales

Período de retorno	Área tributaria (ha)	Coefficiente de escorrentía	Intensidad de lluvia máxima (mm/hr)	360	Q de diseño (m ³ /s)
10	0,89	0,60	118,55	360	0,175
15	0,89	0,60	123,82	360	0,183
25	0,89	0,60	130,46	360	0,193
50	0,89	0,60	139,47	360	0,206

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Caudales de máximos de diseño futuros

Período de retorno	Área tributaria (ha)	Coefficiente de escorrentía	Intensidad de lluvia máxima (mm/hr)	360	Q de diseño (m ³ /s)
10	0,89	0,62	118,55	360	0,181
15	0,89	0,62	123,82	360	0,189
25	0,89	0,62	130,46	360	0,199
50	0,89	0,62	139,47	360	0,213

Fuente: Elaboración propia

2. Calculo del diámetro de las tuberías

Las siguientes tablas muestran los cálculos respectivos del caudal, velocidad, tipo de flujo y fuerza tractiva presentes en las tuberías, y si cumplen con las condiciones mínimas reglamentarias.

2.1 Tuberías que unen los tragantes con los pozos

Para el cálculo de los caudales y velocidades, se utilizó la ecuación de Manning (ecuación 37 para el caudal y 9 para la velocidad) explicada en el capítulo I). Las características de la tubería se determinaron con las ecuaciones de la figura 23.

Por otro lado, la fuerza tractiva se calculó con la ecuación 38 y el número de Froude con la ecuación 41.

- Periodo de retorno de 10 años

Tabla 35. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,729	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,843	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,973	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,518	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,868	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,737	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,543	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,554	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,804	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,828	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,516	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,759	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,628	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 15 años

Tabla 37. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,66	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m2)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,729	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,843	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,973	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,518	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,868	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,737	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,543	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,554	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,804	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,828	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,516	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,19	CUMPLE	1,662	CUMPLE	0,34	0,84	0,94
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,759	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,628	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 25 años

Tabla 39. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m2)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,01	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,01	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,01	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,01	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,01	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,01	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,01	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,01	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,01	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,01	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,01	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,01	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,01	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,01	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,01	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,01	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 50 años

Tabla 41. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Diseño de las tuberías tragante-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,013	0,42	CUMPLE	3,73	CUMPLE	0,34	1,89	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,013	0,44	CUMPLE	3,84	CUMPLE	0,34	1,94	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,013	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,013	0,40	CUMPLE	3,52	CUMPLE	0,34	1,78	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,013	0,33	CUMPLE	2,87	CUMPLE	0,34	1,45	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,131	0,0632	0,013	0,54	CUMPLE	4,74	CUMPLE	0,34	2,40	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,169	0,0353	0,013	0,40	CUMPLE	3,54	CUMPLE	0,34	1,79	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,013	0,40	CUMPLE	3,55	CUMPLE	0,34	1,80	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,153	0,0221	0,013	0,32	CUMPLE	2,80	CUMPLE	0,34	1,42	2,68
T10-P12	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,013	0,32	CUMPLE	2,83	CUMPLE	0,34	1,43	2,73
T12-P14	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,013	0,29	CUMPLE	2,52	CUMPLE	0,34	1,27	2,16
T14-P16	0,5	3,60	0,028	0,0078	0,013	0,34	CUMPLE	1,93	CUMPLE	0,425	0,87	1,18
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,013	0,31	CUMPLE	2,76	CUMPLE	0,34	1,40	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,013	0,30	CUMPLE	2,63	CUMPLE	0,34	1,33	2,36

Fuente: Elaboración propia

2.2 Tuberías que unen los diferentes pozos de registro

- Periodo de retorno de 10 años

Tabla 43. Tuberías pozo-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,4	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,18	CUMPLE	1,57	CUMPLE	0,34	0,79	0,84
P13-P14	0,4	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,19	CUMPLE	1,65	CUMPLE	0,34	0,83	0,92
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Tuberías pozo-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,4	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,19	CUMPLE	1,65	CUMPLE	0,34	0,83	0,92
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 15 años

Tabla 45. Tuberías pozo-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,4	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,19	CUMPLE	1,65	CUMPLE	0,34	0,83	0,92
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Tuberías pozo-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m2)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,5	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,43	0,86	1,16
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 25 años

Tabla 47. Tuberías pozo-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m2)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,5	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,43	0,86	1,16
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Tuberías pozo-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Número de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,01	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,01	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,01	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,01	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,01	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,01	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,01	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,01	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,01	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,01	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,01	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,01	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,5	74,77	0,57	0,0076	0,01	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,43	0,86	1,16
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,01	0,40	CUMPLE	3,49	CUMPLE	0,34	1,77	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,01	0,33	CUMPLE	2,91	CUMPLE	0,34	1,47	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,01	0,22	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,34	0,96	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,01	0,20	CUMPLE	1,77	CUMPLE	0,34	0,89	1,06

Fuente: Elaboración propia

- Periodo de retorno de 50 años

Tabla 49. Tuberías pozo-pozo (situación actual)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Número de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,5	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,43	0,86	1,16
P14-P15	0,5	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,72	CUMPLE	4,05	CUMPLE	0,43	1,83	5,21
P15-P16	0,5	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,60	CUMPLE	3,37	CUMPLE	0,43	1,53	3,61
P16-P17	0,5	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,39	CUMPLE	2,21	CUMPLE	0,43	1,00	1,55
P17-P18	0,5	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,36	CUMPLE	2,05	CUMPLE	0,43	0,93	1,33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Tuberías pozo-pozo (situación futura)

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m2)
P1-P2	0,5	75,18	3,64	0,0484	0,013	0,86	CUMPLE	4,81	CUMPLE	0,43	2,18	7,34
P2-P3	0,5	75,00	1,93	0,0257	0,013	0,62	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,43	1,59	3,90
P3-P4	0,5	75,00	0,35	0,0047	0,013	0,27	CUMPLE	1,50	CUMPLE	0,43	0,68	0,71
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,013	0,50	CUMPLE	2,84	CUMPLE	0,43	1,28	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,013	0,52	CUMPLE	2,90	CUMPLE	0,43	1,31	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,013	0,58	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,43	1,48	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,38	0,0318	0,013	0,69	CUMPLE	3,90	CUMPLE	0,43	1,76	4,82
P8-P9	0,5	74,97	3,11	0,0415	0,013	0,79	CUMPLE	4,46	CUMPLE	0,43	2,02	6,30
P9-P10	0,5	75,02	0,38	0,0051	0,013	0,28	CUMPLE	1,56	CUMPLE	0,43	0,71	0,77
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,013	0,25	CUMPLE	1,38	CUMPLE	0,43	0,63	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,013	0,25	CUMPLE	1,41	CUMPLE	0,43	0,64	0,63
P12-P13	0,5	74,88	0,52	0,0069	0,013	0,32	CUMPLE	1,82	CUMPLE	0,43	0,82	1,05
P13-P14	0,5	74,77	0,57	0,0076	0,013	0,34	CUMPLE	1,91	CUMPLE	0,43	0,86	1,16
P14-P15	0,5	75,09	2,58	0,0343	0,013	0,72	CUMPLE	4,05	CUMPLE	0,43	1,83	5,21
P15-P16	0,5	74,95	1,78	0,0238	0,013	0,60	CUMPLE	3,37	CUMPLE	0,43	1,53	3,61
P16-P17	0,5	75,00	0,77	0,0102	0,013	0,39	CUMPLE	2,21	CUMPLE	0,43	1,00	1,55
P17-P18	0,5	59,63	0,52	0,0088	0,013	0,36	CUMPLE	2,05	CUMPLE	0,43	0,93	1,33

Fuente: Elaboración propia

2.3 Tuberías del caño circular

Tabla 51. Tuberías del cordón y caño

Tubería	D(m)	θ (rad)	A(m2)	R(m)	T (m)	Tirante (m)	Longitud de la tubería (m)	Diferencia de Elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería (m3/s)
Desfogue	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	17,43	1,28	0,073	0,013	1,05
T1-T2	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,47	3,72	0,049	0,013	0,86
T2-T3	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,01	2,02	0,027	0,013	0,64
T3-T4	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,33	0,47	0,006	0,013	0,31
T4-T5	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,96	1,33	0,018	0,013	0,52
T5-T6	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	73,51	1,69	0,023	0,013	0,59
T6-T7	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,88	2,42	0,032	0,013	0,70
T7-T8	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,94	3,21	0,043	0,013	0,81
T8-T9	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,10	0,47	0,006	0,013	0,31
T9-T10	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	76,17	0,48	0,006	0,013	0,31
T10-T11	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,24	0,65	0,009	0,013	0,36
T11-T12	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,26	0,65	0,009	0,013	0,36
T12-T13	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,64	2,70	0,036	0,013	0,73
T13-T14	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,67	1,86	0,025	0,013	0,61
T14-T15	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,99	0,89	0,012	0,013	0,42
T15-T16	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	59,29	0,62	0,010	0,013	0,40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Parámetros de diseño para la sección de caño al lado izquierdo

Caño circular	
Diámetro (m)	0,5
y (m)	0,43
θ (rad)	4,69
A (m ²)	0,18
S (m/m)	0,021
R (m)	0,15
N	0,013
Q (m ³ /s)	0,560

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Parámetros de diseño para la sección de caño al lado derecho

Caño circular	
Diámetro (m)	0,4
y (m)	0,34
θ (rad)	4,69
A (m ²)	0,11
S (m/m)	0,022
R (m)	0,121
N	0,013
Q (m ³ /s)	0,318

Fuente: Elaboración propia

Los planos del proyecto que contienen la planta y detalles constructivos de la propuesta se encuentran en el Anexo B de este documento.

- Cabezales de alcantarillas:

Tabla 54. Cabezales de alcantarilla de concreto

Diámetro de alcantarilla (mm)	A	B	C	D	F	H	L
	Dimensiones (mm)						
525	275	450	650	600	225	1125	2400
450	225	375	525	450	200	950	1800

Fuente: Castro, Barrantes, Camacho, Arguelles (2011)

La tabla anterior contiene las dimensiones correspondientes a los cabezales de concreto de las alcantarillas, en siguiente figura se observa un diagrama para ubicar cada una de estas.

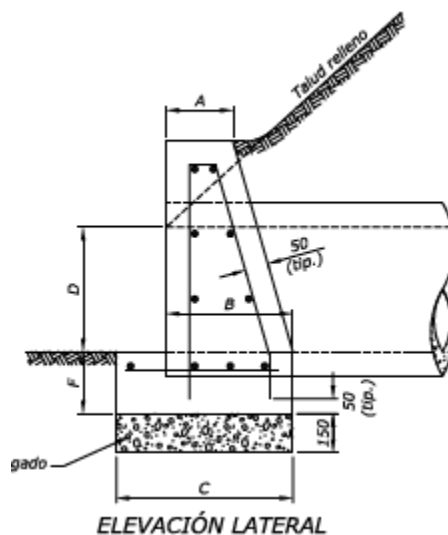


Figura 45. Dimensiones del cabezal (Castro, Barrantes, Camacho, Arguelles (2011))

- Cajas de Registro

Tabla 55. Cajas de Registro

Diámetro de la tubería (mm)	Profundidad (mm)	Cantidades estimadas			
		Marco y rejilla (kg) (780x780)		Concreto (m ³)	Acero de refuerzo (kg)
		Tipo A	Tipo B		
450	900	98	108	0,6	24

Fuente: Castro, Barrantes, Camacho, Arguelles (2011)

La tabla anterior muestra las propiedades de las cajas de registro a construir y la cantidad de material correspondientes en función del diámetro de tubería.

- Tragantes

La siguiente tabla contiene la cantidad de m³ (estimados) de concreto que se requieren para la entrada de cada uno de los tragantes a colocar.

Tabla 56. Cantidad de concreto para la entrada de los tragantes

Tragante	Profundidad mínima (a) (m)	Profundidad (b) (m)	b-a (m)	Concreto para la profundidad mínima (m ³)	Concreto de entrada (m ³)	Concreto para tragante (m ³)
1	0,94	1,4	0,5	0,989	1,39	0,80
2	0,94	2,6	1,7	0,989	2,45	1,28
3	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
4	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
5	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
6	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
7	0,94	2,0	1,1	0,989	1,92	1,04
8	0,94	2,3	1,4	0,989	2,19	1,16
9	0,94	2,0	1,1	0,989	1,92	1,04
10	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
11	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
12	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
13	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
14	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
15	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08
16	0,94	2,1	1,2	0,989	2,01	1,08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Materiales para cada tragante

Diámetro de tubería (mm)	Concreto de entrada (m ³)	Concreto del tragante (m ³)	Cuneta de concreto (m ³)	Tapa de concreto (m ³)	m ³ totales	Acero de refuerzo (kg)
525	2,00	1,08	0,528	0,301	3,90	28,5

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior presenta las cantidades de materiales totales estimadas que se requieren para la construcción de cada tragante. Las dimensiones de los pozos de registro se encuentran detalladas en el Anexo B.

- Pozos de registro

En la siguiente tabla, se muestra el cálculo del concreto a utilizar para cada uno de los pozos de registro. Igualmente, los detalles de dimensionamiento de los pozos se encuentran en el anexo B.

Tabla 58. Cantidad de concreto para los pozos

Pozo	Profundidad (m)	M3 de concreto
1	1,5	0,71
2	2,7	1,20
3	2,2	0,99
4	2,2	0,99
5	2,2	0,99
6	2,2	0,99
7	2,2	0,99
8	2,2	0,99
9	2,4	1,08
10	2,2	0,99
11	2,0	0,91
12	2,2	0,99
13	2,2	0,99
14	2,2	0,99
15	2,2	0,99
16	2,2	0,99
17	2,2	0,99
18	2,2	0,99

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones y Recomendaciones

a. Conclusiones

Se logró proponer un diseño para el mejoramiento del alcantarillado pluvial del camino Calle Potrerillo en San Antonio de Belén, que actualmente presenta problemas de inundaciones. Este inconveniente provoca el deterioro acelerado de la superficie de rudo y la inconformidad de los habitantes de la localidad.

Conforme a las observaciones realizadas en el sitio, se concluyó que la mayor parte de los elementos se encuentran ubicados de forma incorrecta y que los primeros 500 metros de la carretera carecen completamente de un sistema de drenaje.

El método racional fue la herramienta que permitió determinar los caudales máximos. El área tributaria calculada es inversamente proporcional a la cantidad de tragantes colocados en el diseño, y como resultado, se obtuvo que el área tributaria perteneciente a cada tragante es de 0.89 hectáreas o 0.0089 km². Además, se concluyó que la topografía de la zona es el parámetro principal que se debe analizar, al definir el área que aporta la escorrentía al alcantarillado pluvial.

Relacionado al párrafo anterior, se utilizó un coeficiente de escorrentía ponderado, tomando los valores para coberturas de pasto y follaje y coberturas de asfalto y edificios. Con esto, se obtuvieron dos coeficientes; uno para la situación actual y otra para la situación proyectada a futuro, estos valores son de 0.60 y 0.62 respectivamente. Si bien solo existe una diferencia corta entre ambos valores, se realizaron las iteraciones respectivas para los dos casos, pues el objetivo principal es obtener una propuesta que se adapte a la realidad y a los requerimientos de la Municipalidad de Belén. Además, se concluye que casi se ha alcanzado el porcentaje de cobertura máximo definido en el Plan Regulador del Cantón de Belén; solamente se requiere un 7.7% más de cobertura, o 0.68 hectáreas.

El tiempo de concentración de la red de alcantarillado y el periodo de diseño fueron dos parámetros importantes al calcular la intensidad de lluvia máxima. Respecto a este tema, se concluye lo siguiente:

- El tiempo de concentración del sistema de drenaje está ligado a dos componentes; el primero relaciona la distancia promedio entre tragantes y la diferencia de elevación, y el segundo relaciona la longitud y velocidad a tubo lleno de la tubería.
- La pendiente y velocidad de las tuberías afectan de manera importante al tiempo que tarda la escorrentía en trasladarse por la red de alcantarillado.

Las intensidades de lluvia máximas obtenidas se consideraron constantes para toda el área de drenaje. Se concluyó que por medio de las curvas de intensidad-duración es posible determinar un valor de la intensidad de lluvia máxima, que probablemente ocurrirá en un periodo de tiempo determinado. Además, otra conclusión importante es que, si bien estos métodos se basan en probabilidades, son muy eficientes para áreas pequeñas en las que métodos más exactos significarían un costo adicional posiblemente innecesario.

El cálculo del caudal máximo se realizó una vez que se definieron la intensidad máxima de lluvia, el coeficiente de escorrentía y el área de drenaje para cada tragante. Estos caudales fueron el factor principal a tomar en cuenta al fijar las pendientes y diámetros de tuberías, y las profundidades de tragantes y pozos. El objetivo principal en la ingeniería civil es lograr diseñar cualquier tipo de estructura, de manera que cumpla eficientemente con los requerimientos estructurales y económicos. Dicho esto, en el alcantarillado pluvial, las redes de tuberías deben ser capaces de trasegar el caudal de diseño, sin provocar inundaciones u otros problemas de drenaje.

La nueva ubicación de los tragantes resultó en una distancia promedio de 73.89 metros entre cada uno, esto para solucionar los problemas de empozamiento del agua. Como se pudo observar en la planta del proyecto, el tramo de carretera no es ciento por ciento recto; posee muchas curvas en diferentes direcciones y la falta de tragantes o la ineficiente ubicación de los

mismos, al cambiar la dirección del flujo provoca los problemas anteriormente mencionados.

Por otro lado, los pozos de registro se dispusieron a una distancia promedio de 65.24 metros. En algunos tramos, como en los estacionamientos 0+360 y 0+645, se requirió colocar pozos de registro (el 6 y el 11 respectivamente) para evitar que la tubería a colocar, se saliera del derecho de vía y entrara en propiedad privada. De todo lo mencionado anteriormente, se determinó que además de respetar las normas vigentes sobre la construcción del alcantarillado, se debe procurar mantener soluciones ingenieriles que eviten retrasos y otros inconvenientes que posiblemente aumentarán el presupuesto de la obra.

En cuanto a los diámetros de tubería, se mantuvieron en un rango de 40 cm a 50 cm para cada periodo de diseño. Para las tuberías que conectan los tragantes con los pozos los diámetros se mantuvieron de 40 cm, para los periodos de diseño de 10 y 15 años, mientras que para los periodos de 25 y 50 años los diámetros fueron de 50 cm para las tuberías T10-P12, T12-P14 y T14-P16 y de 40 cm para el resto. Las alcantarillas para la estructura de caño se mantuvieron en un diámetro de 50 cm del lado izquierdo y de 40 cm del derecho.

Las tuberías que unen los pozos de registro tienen un diámetro mínimo de 40 cm y el diámetro máximo alcanzado fue de 50cm para todos los periodos de diseño. Se puede concluir que las diferencias en cada periodo se dan en los cambios de diámetro; pues en cada uno el ajuste ocurre en estacionamientos posteriores, por ejemplo, para el periodo de diseño de 10 años el cambio de diámetro se da en el estacionamiento 0+680 (pozo número 12), mientras que para el periodo de 15 años es en el kilómetro 0+755 (pozo número 13). Evidentemente, esta situación es provocada por el aumento del caudal máximo de cada periodo de diseño y las secciones más pequeñas no son capaces de trasegarlo.

Es importante mencionar que los ingenieros de la Municipalidad deseaban que se realizara un diseño para un canal al inicio de la vía, al lado derecho, con el fin de tener dos opciones para el desfogue de las aguas de

ese lado de la vía. Sin embargo, por la topografía de la zona, se tomó la decisión de no desarrollar el diseño de dicho canal, pues se consideró que las características del terreno dificultan la tarea de diseñar un canal que trabaje de manera eficiente.

El caudal vertido en la ruta 147 y finalmente, dirigido al río Virilla es de 12.93 m³/s, para los periodos de 10 y 15 años, y de 13.39 m³/s para los periodos de 25 y 50 años. Estas cifras representan un promedio del 2.62% del caudal de avenida máxima del río Virilla.

b. Recomendaciones

El objetivo principal al realizar este proyecto es proponer un diseño para el alcantarillado pluvial de Calle Potrerillo que solucione los problemas de inundaciones que se dan en esta zona. La decisión de adoptar este diseño o no pertenece a los funcionarios de la Municipalidad de Belén, quienes se encargarán de estudiar y analizar la propuesta para optar por aplicarla o modificarla.

Algunas recomendaciones generales para la Municipalidad de Belén respecto al proyecto se dan a continuación:

- Intervenir en el sistema de alcantarillado de Calle Potrerillo, ya sea implementando esta propuesta o alguna diferente.
- Desarrollar un plan de mantenimiento, si actualmente no existe, para aplicar al sistema de drenaje actual y el nuevo a construir.
- Realizar un control de las aguas que se vierten, por parte de la comunidad, al sistema de alcantarillado pluvial.
- Efectuar un estudio adicional para determinar los caudales que se manejan en el sistema de drenaje de la ruta 147.
- Realizar un levantamiento topográfico al resto del trayecto para obtener información de campo más exacta.
- Analizar el costo/beneficio para lograr tomar la decisión de implementar o no la propuesta presentadas en este proyecto.
- Desarrollar una propuesta de diseño que incluya el canal al inicio del tramo, para realizar una comparación de ambos diseños.

A la Universidad Latina de Heredia se recomienda:

- Continuar con el apoyo a los estudiantes para desarrollar más proyectos similares a este.
- Habilitar cursos libres a los estudiantes, referentes al tema de la utilización de softwares de análisis hídrico y diseño de estructuras hidráulicas.

Referencias Bibliográficas

- Barrantes, R. (2013). Paradigmas y enfoques de la investigación científica. En D. Villalobos (Ed.), *Investigación: un camino al conocimiento* (pp. 73-96), San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Carmona, J.P. (2014). Diagnóstico de alcantarillado pluvial del tramo de ruta nacional 228 en Cartago. Recuperado de, http://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6737/Diagnostico_sistema_alcantarillado_pluvial.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, J.A., Barrantes, R., Camacho, E., Arguelles, R. (2011). Diseños *Estándar para la construcción de estructuras conexas en carreteras (De-2011)*. Recuperado de: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/index.php/manuales-especificac.html>
- Castro, L. (2011). *Análisis Hidráulico y Diseño de Mejoras al Alcantarillado Pluvial de un Sector de Cuatro Reinas de Tibás*. Tesis inédita. Licenciatura en ingeniería civil. Universidad Latina. Heredia, Costa Rica.
- Gámez, W.R. (2010). Esguerrimiento superficial e hidrometría. *Texto básico de hidrología* (pp. 118-119), Managua: Editronic, S.A.
- Gómez, W.R. (2009). Esguerrimiento superficial e hidrometría. *Texto Básico de Hidrología*. (pp.116-119) Managua: Editronic, S.A.
- Gottret, J.C., Quiroz, F., Condarco, P., Nardelli, D., Caballero, L., Hurtado, J.,...Mendoza, E. (2011). Hidrología. *Normas para Obras de Drenaje Vial*. Recuperado de, <http://www.mopc.gov.py/userfiles/files/Normas%20para%20Obras%20de%20Drenaje%20Vial.pdf>
- Jiménez, F.A. (2014). *Proyecto: Edificios de derecho, tecnologías de la salud, Farmacia, biología, música, aulario, cita, escuela cita. CICA, neurociencias, ciclótrón y Plaza de la Autonomía sede Rodrigo Facio y Ciudad de la Investigación*. Recuperado de, http://oeppi.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/Facultad-Odontologia_Nuevo-Edificio/Hidrolog%C3%ADa%20UCR%20Fincas%201%20y%202%20final.pdf

Kraemer, C., Pardillo, J.M., Rocci, S., Romana, M.G., Sánchez Blanco, V. & del Val, M.A. (2003). Actividades de la ingeniería de carreteras. En C. Fernández (Ed.), *Ingeniería de Carreteras* (pp. 17-25), Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

Kraemer, C., Pardillo, J.M., Rocci, S., Romana, M.G., Sánchez Blanco, V. & del Val, M.A. (2003). Las redes varias. En C. Fernández (Ed.), *Ingeniería de Carreteras* (pp. 3-12), Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

Kraemer, C., Pardillo, J.M., Rocci, S., Romana, M.G., Sánchez Blanco, V. & del Val, M.A. (2003). Los vehículos. En C. Fernández (Ed.), *Ingeniería de Carreteras* (pp. 37-57), Madrid: McGraw-Hill/Interamericana.

Merritt, F.S, Kent, M., Ricketts, J.T. (1999). Ingeniería de caminos. Manual del Ingeniero Civil (pp. 16.27- 16.31), México D.F: McGraw-Hill Latinoamérica.

Villón, M. (2003). Alcantarillas. *Diseño de estructuras hidráulicas* (pp. 156-159), Cartago: Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villón, M. (2006) Drenaje superficial. *Drenaje* (pp. 472-474), Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Villón, M. (2002). Precipitación. *Hidrología* (pp. 108-123), Cartago: Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Anexo A: Inspección del tramo a intervenir

Condición de los tragantes



Fuente: Propia



Fuente: Propia

Las fotografías muestran empozamientos sobre la vía caudados por a la mala disposición del tragante y el cordón y caño. Además el mal estado de la vía provoca que el agua se acumule aún más.



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia

En las imágenes anteriores, se observan las rejillas de los elementos de captación parcialmente obstruidas con basuras, arena, materia vegetal y piedras. Todo esto contribuye a la acumulación del agua sobre la carpeta asfáltica y el caño.

Condición del cordón y caño

El cordón y caño es una estructura muy importante para cualquier sistema de drenaje, ya que su función es dirigir el agua proveniente de las construcciones y la superficie de riego hacia las estructuras de captación.

Gran parte del tramo en Calle Potrerillo no posee esta estructura, o si existe se encuentra en mal estado u obstruida. En las siguientes fotografías, se puede observar claramente algunas obstrucciones, ausencia del cordón y caño, empozamientos, grietas en la estructura que afectan considerablemente el recorrido del agua.



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia

Condición de las alcantarillas

Otra estructura que se encarga del transporte de la escorrentía a través del sistema de drenaje son las alcantarillas. Estas son el conducto principal del agua hacia el desfogue y también son el elemento de todo el sistema al que generalmente se le da menos mantenimiento, por la dificultad que este implica.

Las alcantarillas sufren de desgaste prematuro por diversas razones, tales como poco o nulo mantenimiento, por diseño inapropiado de las secciones, por obstrucciones, entre otros. El camino de Calle Potrerillo presenta casos como estos en gran parte del recorrido del alcantarillado pluvial y se demuestran en las siguientes fotografías.



Fuente: Propia



Fuente: Propia



Fuente: Propia

**Anexo B: Memoria de cálculo para
diseño con tubería de polietileno de
alta densidad (ADS)**

El siguiente anexo presenta la propuesta de diseño con tubería de polietileno de alta densidad ADS, con la finalidad de obtener una comparación de ambos materiales y explicar el porqué de la escogencia final de la tubería de concreto. Los datos hidrológicos y topográficos utilizados son los mismos para ambos materiales.

Ubicación y diseño de los tragantes y pozos

A continuación, se presentan una serie de tablas con los resultados obtenidos tras el análisis y el diseño de los elementos del alcantarillado pluvial.

Tabla B1. Datos de los tragantes

Tragante	Estacionamiento	Profundidad (m)	Elevación(m)	Diametro de tubería	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0+005	1,3	64,620	40	9°58'5.51"	84°11'59.06"
2	0+080	3,5	67,340	40	9°58'6.91"	84°11'57.03"
3	0+155	2,4	69,960	40	9°58'8.14"	84°11'54.91"
4	0+230	2,1	70,730	40	9°58'9.31"	84°11'52.74"
5	0+305	2,1	72,060	40	9°58'10.34"	84°11'50.51"
6	0+385	2,2	73,650	40	9°58'11.51"	84°11'48.44"
7	0+455	1,9	76,270	40	9°58'13.39"	84°11'46.88"
8	0+530	2,6	79,080	40	9°58'15.27"	84°11'45.32"
9	0+605	2,0	79,850	40	9°58'17.17"	84°11'43.76"
10	0+680	2,1	80,331	40	9°58'18.87"	84°11'41.97"
11	0+755	2,1	80,976	40	9°58'19.84"	84°11'39.70"
12	0+830	2,1	81,621	40	9°58'20.96"	84°11'37.55"
13	0+905	2,1	84,318	40	9°58'22.38"	84°11'35.53"
14	0+980	2,1	86,183	40	9°58'23.28"	84°11'33.22"
15	1+055	2,1	87,075	40	9°58'23.98"	84°11'30.86"
16	1+115	2,1	87,696	40	9°58'24.66"	84°11'29.05"

Fuente: Elaboración propia

Tabla B2: Datos de los pozos

Pozo	Estacionamiento	Profundidad (m)	Elevación (m)	Diametro de entrada (cm)	Diametro de salida (cm)	Latitud Norte	Longitud Oeste
1	0+005	1,4	64,525	50	50	9°58'5.44"	84°11'59.01"
2	0+080	3,6	67,265	50	50	9°58'6.86"	84°11'57.00"
3	0+155	2,5	69,895	50	50	9°58'8.07"	84°11'54.86"
4	0+230	2,2	70,647	50	50	9°58'9.24"	84°11'52.71"
5	0+305	2,2	72,008	50	50	9°58'10.28"	84°11'50.48"
6	0+360	2,2	73,076	50	50	9°58'10.98"	84°11'48.82"
7	0+385	2,2	73,619	50	50	9°58'11.47"	84°11'48.39"
8	0+455	2	76,201	50	50	9°58'13.35"	84°11'46.83"
9	0+530	2,7	79,016	50	50	9°58'15.24"	84°11'45.27"
10	0+605	2,1	79,797	50	50	9°58'17.12"	84°11'43.70"
11	0+645	2	80,058	50	50	9°58'18.06"	84°11'42.80"
12	0+680	2,2	80,303	40	50	9°58'18.77"	84°11'41.91"
13	0+755	2,2	80,923	40	40	9°58'19.77"	84°11'39.67"
14	0+830	2,2	81,593	40	40	9°58'20.87"	84°11'37.48"
15	0+905	2,2	84,271	40	40	9°58'22.31"	84°11'35.49"
16	0+980	2,2	86,155	40	40	9°58'23.17"	84°11'33.19"
17	1+055	2,2	87,023	40	40	9°58'23.90"	84°11'30.84"
18	1+115	2,2	87,646	40	40	9°58'24.59"	84°11'29.01"

Fuente: Elaboración propia

La mayor diferencia respecto a la propuesta con tubería de concreto se observa en las profundidades de los tragantes y pozos. Estas se modificaron para conseguir que las velocidades dentro de la tubería se mantuvieran en el rango establecido.

Diseño de las tuberías

Las siguientes tablas muestran los cálculos respectivos del caudal, velocidad, tipo de flujo y fuerza tractiva presentes en las tuberías, y si cumplen con las condiciones mínimas reglamentarias.

Tabla B3. Características de las tuberías tragante-pozo

Tubería	D(m)	θ (rad)	A(m ²)	R(m)	T (m)	Tirante (m)	Longitud de la tubería (m)	Diferencia de Elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)
Desfogue	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	17,43	1,28	0,073	0,013	1,05
T1-T2	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,47	2,72	0,036	0,011	0,87
T2-T3	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,01	2,62	0,035	0,011	0,86
T3-T4	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,33	0,77	0,010	0,011	0,46
T4-T5	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,96	1,33	0,018	0,011	0,61
T5-T6	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	73,51	1,59	0,022	0,011	0,68
T6-T7	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,88	2,62	0,035	0,011	0,86
T7-T8	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,94	2,81	0,037	0,011	0,89
T8-T9	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,10	0,77	0,010	0,011	0,47
T9-T10	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	76,17	0,48	0,006	0,011	0,37
T10-T11	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,24	0,65	0,009	0,011	0,43
T11-T12	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,26	0,65	0,009	0,011	0,43
T12-T13	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,64	2,70	0,036	0,011	0,87
T13-T14	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	75,67	1,86	0,025	0,011	0,72
T14-T15	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	74,99	0,89	0,012	0,011	0,50
T15-T16	0,50	4,69	0,18	0,15	0,36	0,43	59,29	0,62	0,010	0,011	0,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla B4. Características de las tuberías pozo-pozo

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
P1-P2	0,5	75,18	2,64	0,0351	0,011	0,86	CUMPLE	4,84	CUMPLE	0,43	2,19	5,33
P2-P3	0,5	75,00	2,53	0,0337	0,011	0,84	CUMPLE	4,75	CUMPLE	0,43	2,15	5,12
P3-P4	0,5	75,00	0,65	0,0087	0,011	0,43	CUMPLE	2,41	CUMPLE	0,43	1,09	1,32
P4-P5	0,5	74,98	1,26	0,0168	0,011	0,60	CUMPLE	3,35	CUMPLE	0,43	1,52	2,55
P5-P6	0,5	54,97	0,97	0,0176	0,011	0,61	CUMPLE	3,43	CUMPLE	0,43	1,55	2,67
P6-P7	0,5	19,91	0,44	0,0222	0,011	0,69	CUMPLE	3,85	CUMPLE	0,43	1,74	3,37
P7-P8	0,5	74,93	2,48	0,0331	0,011	0,84	CUMPLE	4,71	CUMPLE	0,43	2,13	5,02
P8-P9	0,5	74,97	2,71	0,0362	0,011	0,88	CUMPLE	4,92	CUMPLE	0,43	2,23	5,49
P9-P10	0,5	75,02	0,68	0,0091	0,011	0,44	CUMPLE	2,46	CUMPLE	0,43	1,11	1,38
P10-P11	0,5	40,07	0,16	0,0040	0,011	0,29	CUMPLE	1,64	CUMPLE	0,43	0,74	0,61
P11-P12	0,5	34,80	0,15	0,0042	0,011	0,30	CUMPLE	1,67	CUMPLE	0,43	0,75	0,63
P12-P13	0,4	74,88	0,52	0,0069	0,011	0,21	CUMPLE	1,86	CUMPLE	0,34	0,94	0,84
P13-P14	0,4	74,77	0,57	0,0076	0,011	0,22	CUMPLE	1,94	CUMPLE	0,34	0,98	0,92
P14-P15	0,4	75,09	2,58	0,0343	0,011	0,47	CUMPLE	4,13	CUMPLE	0,34	2,09	4,16
P15-P16	0,4	74,95	1,78	0,0238	0,011	0,39	CUMPLE	3,44	CUMPLE	0,34	1,74	2,89
P16-P17	0,4	75,00	0,77	0,0102	0,011	0,26	CUMPLE	2,25	CUMPLE	0,34	1,14	1,24
P17-P18	0,4	59,63	0,52	0,0088	0,011	0,24	CUMPLE	2,09	CUMPLE	0,34	1,06	1,06

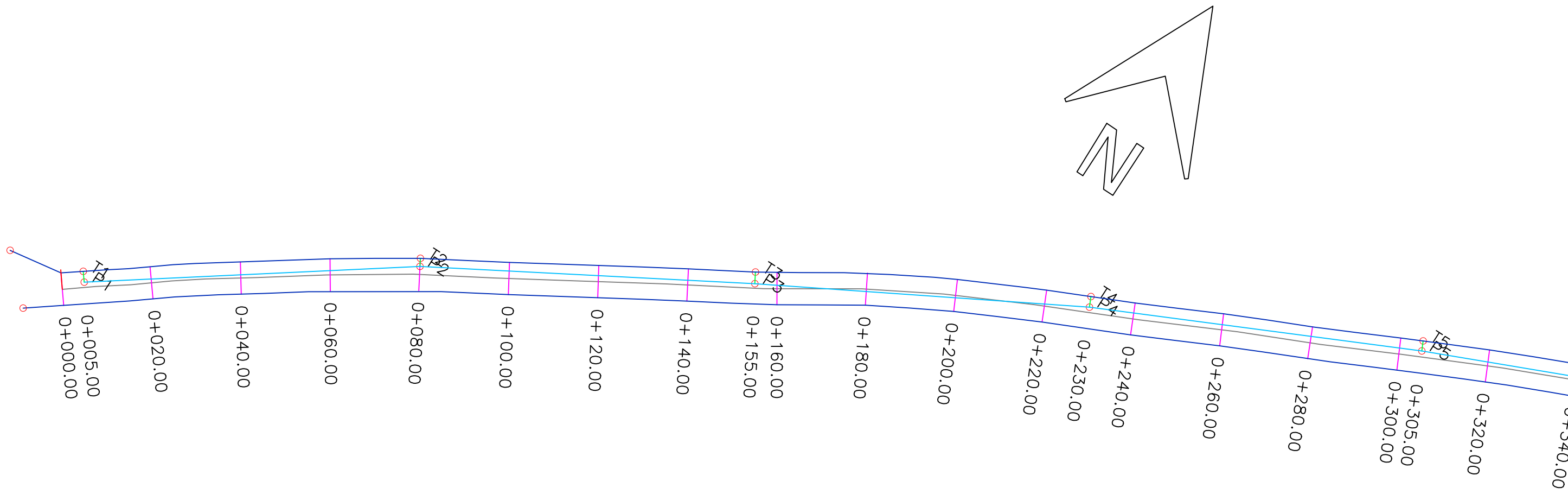
Fuente: Elaboración propia

Tabla B5. Características de la tubería del caño circular

Tubería	D(m)	Longitud de la tubería	Diferencia de elevación (m)	S(m/m)	n	Q tubería(m ³ /s)	Q>Qd	V tubería (m/s)	V<Vd	Tirante (m)	Numero de Froude	Fuerza tractiva (kg/m ²)
T1-P1	0,4	2,43	0,095	0,0391	0,011	0,50	CUMPLE	4,41	CUMPLE	0,34	2,23	4,75
T2-P2	0,4	1,80	0,075	0,0416	0,011	0,52	CUMPLE	4,54	CUMPLE	0,34	2,30	5,04
T3-P3	0,4	2,61	0,065	0,0249	0,011	0,40	CUMPLE	3,51	CUMPLE	0,34	1,78	3,02
T4-P4	0,4	2,39	0,083	0,0348	0,011	0,47	CUMPLE	4,16	CUMPLE	0,34	2,10	4,23
T5-P5	0,4	2,24	0,052	0,0231	0,011	0,39	CUMPLE	3,39	CUMPLE	0,34	1,71	2,81
T6-P7	0,4	2,08	0,031	0,0150	0,011	0,31	CUMPLE	2,73	CUMPLE	0,34	1,38	7,66
T7-P8	0,4	1,95	0,069	0,0353	0,011	0,48	CUMPLE	4,19	CUMPLE	0,34	2,12	4,29
T8-P9	0,4	1,80	0,064	0,0356	0,011	0,48	CUMPLE	4,20	CUMPLE	0,34	2,12	4,31
T9-P10	0,4	2,37	0,053	0,0221	0,011	0,38	CUMPLE	3,31	CUMPLE	0,34	1,68	2,68
T10-P12	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,011	0,22	CUMPLE	1,96	CUMPLE	0,34	0,99	0,94
T11-P13	0,4	2,35	0,053	0,0225	0,011	0,38	CUMPLE	3,34	CUMPLE	0,34	1,69	2,73
T12-P14	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,011	0,22	CUMPLE	1,96	CUMPLE	0,34	0,99	0,94
T13-P15	0,4	2,64	0,047	0,0178	0,011	0,34	CUMPLE	2,97	CUMPLE	0,34	1,50	2,16
T14-P16	0,4	3,60	0,028	0,0078	0,011	0,22	CUMPLE	1,96	CUMPLE	0,34	0,99	0,94
T15-P17	0,4	2,41	0,052	0,0214	0,011	0,37	CUMPLE	3,26	CUMPLE	0,34	1,65	2,60
T16-P18	0,4	2,54	0,049	0,0194	0,011	0,35	CUMPLE	3,11	CUMPLE	0,34	1,57	2,36

Fuente: Elaboración propia

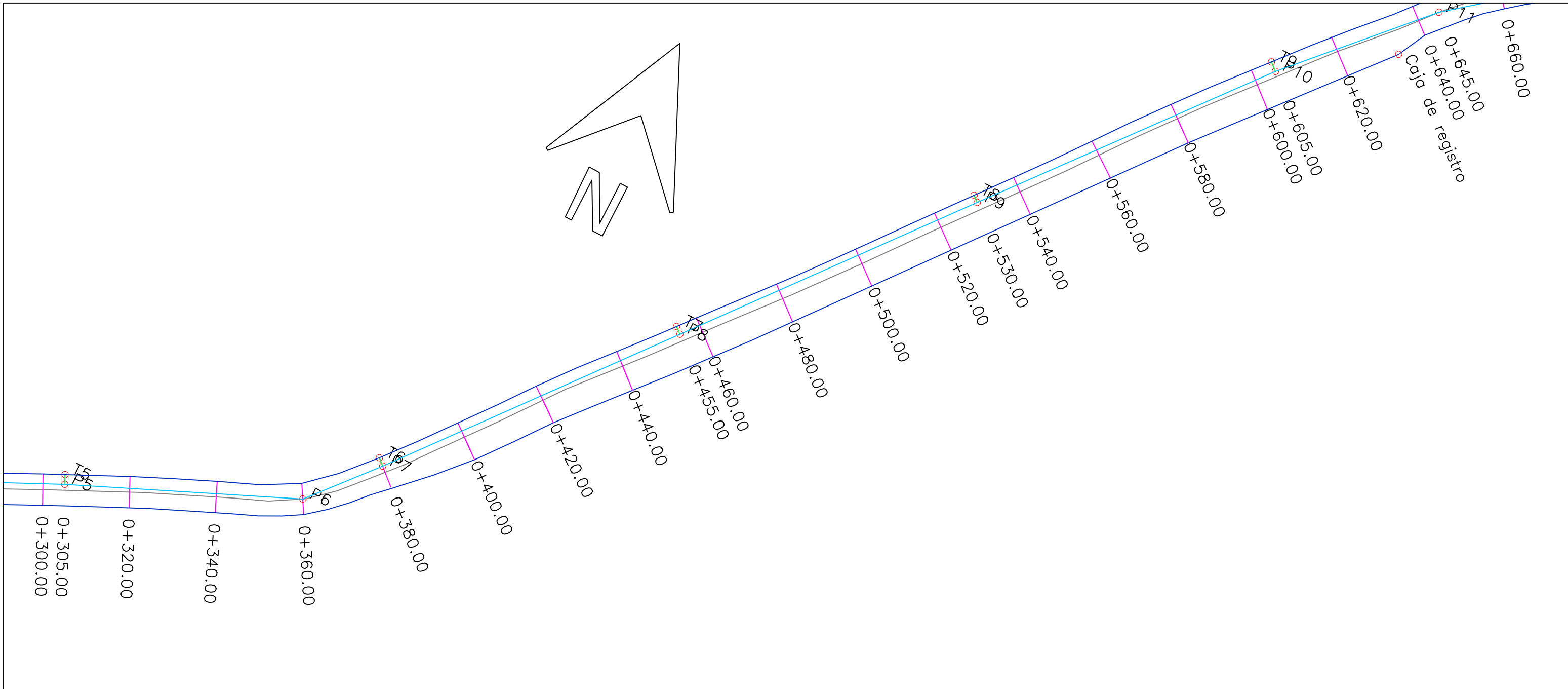
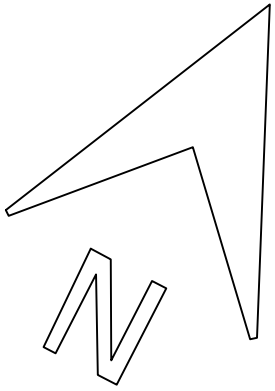
Anexo C: Planos de la propuesta







Simbología:

- Cordón y caño
- Tuberías tragante-pozo
- Tuberías pozo-pozo
- Línea de centro

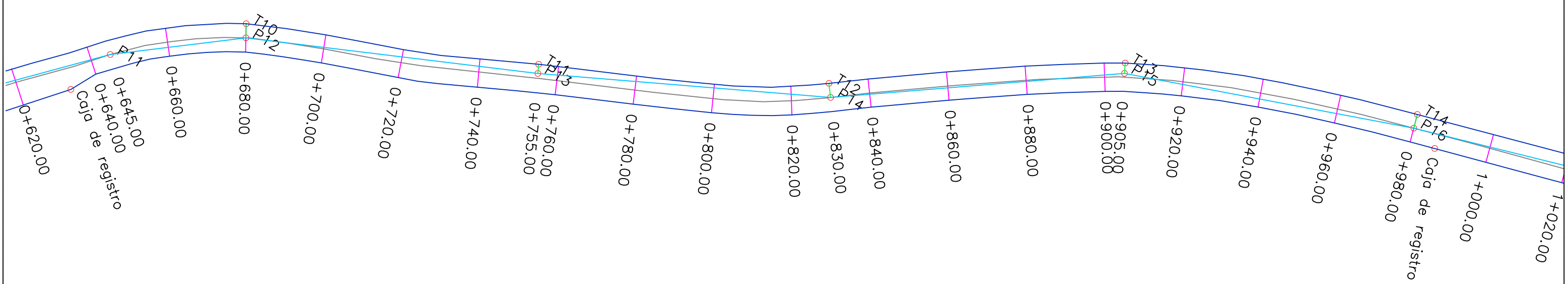
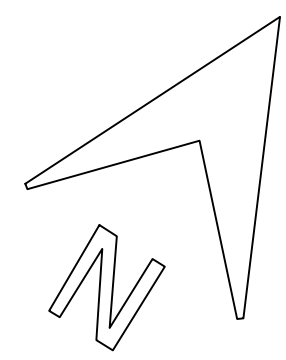
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:2000	Laura Méndez Mesén	1
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Provincia	Cantón	Distrito
	Heredia	Belén	San Antonio
	Contenido		
Planta del proyecto			







Simbología:

	Cordón y caño
	Tuberías tragante-pozo
	Tuberías pozo-pozo
	Línea de centro

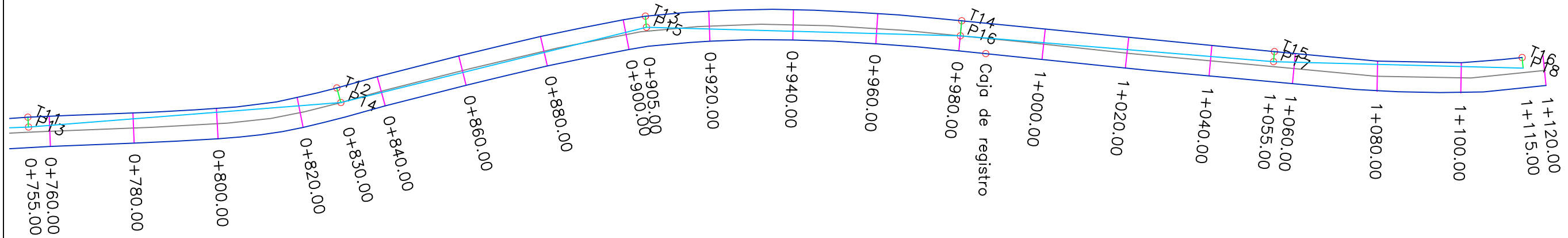
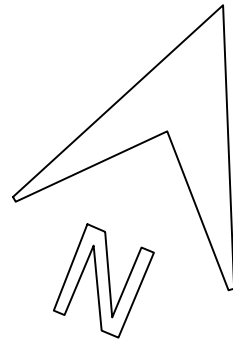
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:2000	Laura Méndez Mesén	2
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Provincia	Cantón	Distrito
	Heredia	Belén	San Antonio
	Contenido		
Planta del proyecto			







Simbología:

-  Cordón y caño
-  Tuberías tragante-pozo
-  Tuberías pozo-pozo
-  Línea de centro

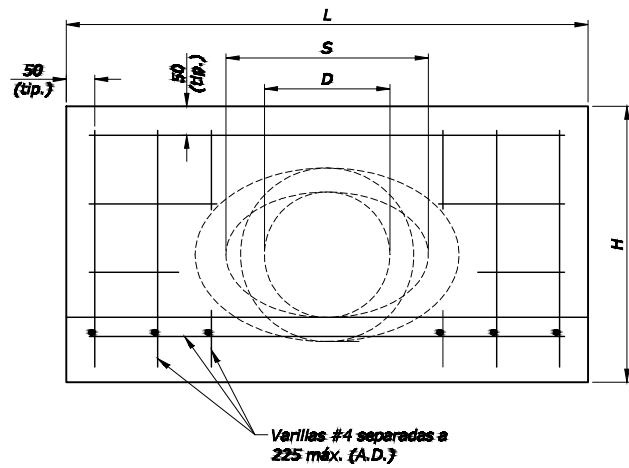
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:2000	Laura Méndez Mesén	3
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Provincia	Cantón	Distrito
	Heredia	Belén	San Antonio
	Contenido		
	Planta del proyecto		



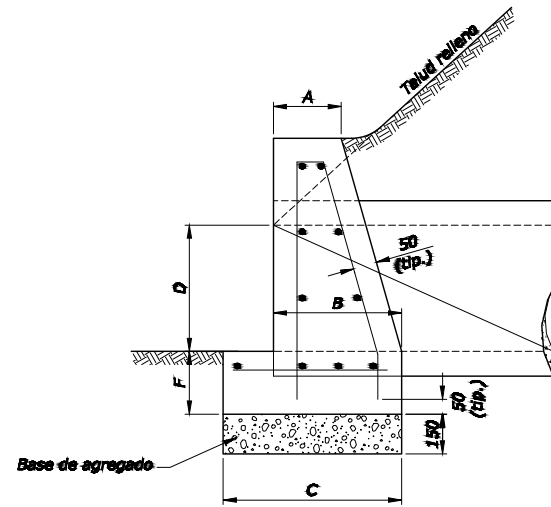
Simbología:

-  Cordón y caño
-  Tuberías tragante-pozo
-  Tuberías pozo-pozo
-  Línea de centro

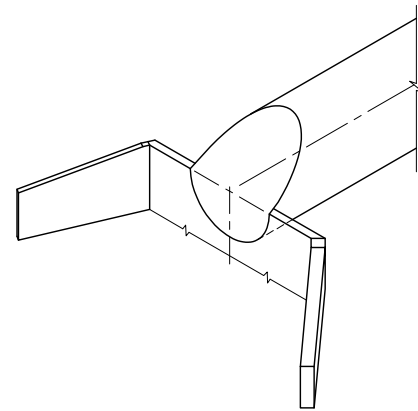
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:2000	Laura Méndez Mesén	4
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Provincia	Cantón	Distrito
	Heredia	Belén	San Antonio
	Contenido		
Planta del proyecto			



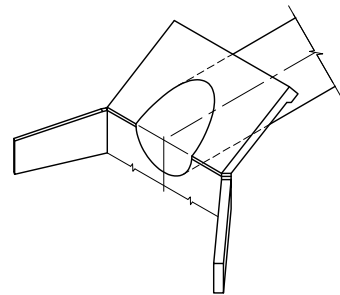
ELEVACIÓN FRONTAL
Escala 1:2500



ELEVACIÓN LATERAL
Escala 1:2500



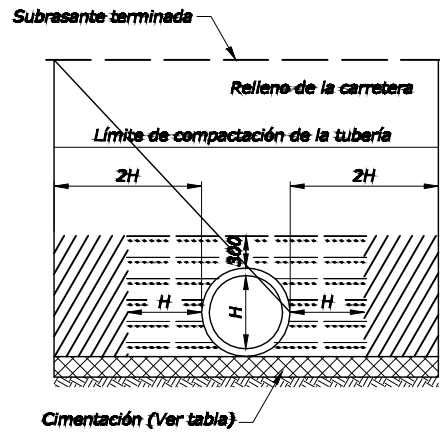
VISTA ISOMÉTRICA
Escala 1:2500



VISTA ISOMÉTRICA
Escala 1:2500

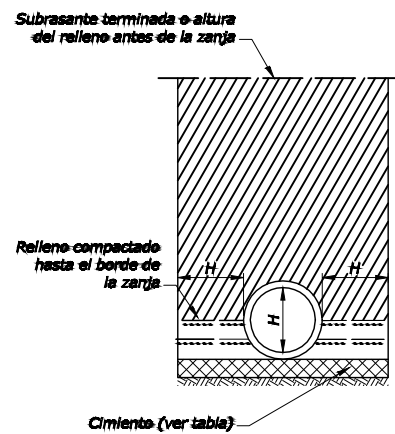
CABEZAL PARA TUBERÍA CIRCULAR		
Diámetro de la tubería de la alcantarilla		
	400	500
A	225	275
B	375	450
C	525	650
D	450	600
F	200	225
H	950	1125
L	1800	2400

UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	5
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Detalles estructurales: cabezales de concreto		
	Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011		



INSTALACIÓN EN TERRAPLÉN

Escala 1:2500







INSTALACIÓN EN ZANJA

Escala 1:2500

ALCANTARILLA DE TUBERÍA REDONDA DE CONCRETO

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	TABLA DE ALTURA DE LLENADO Y CLASIFICACIÓN DE TUBERÍAS								
	COBERTURA MÍNIMA	RELLENO				ZANJA			
		CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V	CLASE II	CLASE III	CLASE IV	CLASE V
	ALTURA MÁXIMA DE LLENADO (m)								
400	300	3,0	3,0	7,5	12,0	4,0	4,0	9,0	13,5
500	300	3,0	3,0	4,5	9,0	4,5	4,5	6,5	12,0

SIMBOLOGÍA:

-  Material de cimentación (sin compactar)
-  Material relleno dispuesto en capas no mayores a 150 mm de profundidad.
-  Material de relleno compactado en capas no mayores a 150 mm de profundidad, teniendo que:
Tamaño máx. de la partícula = 75 mm
Clasificación de suelos: A-1, A-2, o A-3
O una capa de concreto delgada según la sección 614.
-  Material de relleno impermeable

PROFUNDIDAD DEL CIMENTO	
TAM. TUB. (H)	PROFUNDIDAD
300 A 1350	100
> 1350	150

NOTAS:

1. Cuando sea indicado, aplique una contraflecha en la tubería del 1% de la longitud para contrarrestar la deformación de la flecha (combadura). Construya la tubería con una curva parabólica. Si la elevación de punto medio sobre la curva parabólica excede la elevación de la entrada, reduzca la curva o aumente el gradiente del tubo de la alcantarilla.

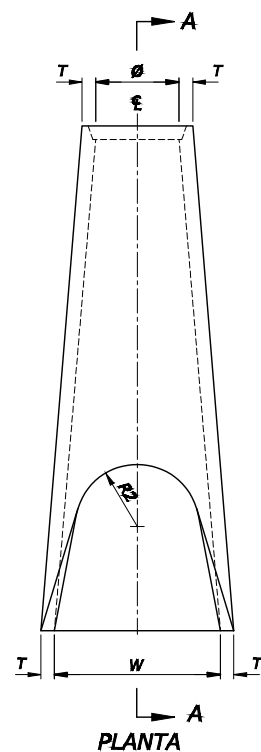
2. Medir la cubierta mínima desde la cima de la alcantarilla de tubo hasta la subbase para pavimentos flexibles, y a la cima del pavimento para pavimentos rígidos. Mida la altura máxima del relleno desde la parte superior del pavimento tanto para pavimentos rígidos como flexibles.

3. Los límites de compactación mostrados son para la instalación de tubo en un terraplén. Para la instalación de tubo en una zanja, los límites de compactación serán las paredes de la zanja.

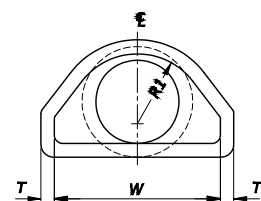
4. Donde se encuentre material incompresible o inestable, instale la alcantarilla de tubo según los límites de compactación de tubo mostrada en el Estándar 602-3.

5. La altura máxima de llenado para instalaciones de alcantarilla de tubo pueden ser aumentadas bajo diseños estructurales de la tubería para ese sitio, y bajo los criterios específicos de la AASHTO Estándar para puentes de carretera.

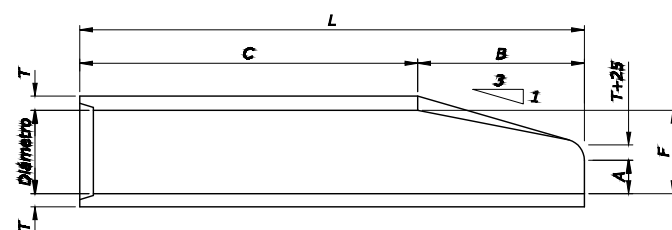
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	6
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.			Detalles estructurales: Alcantarillas
Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011			



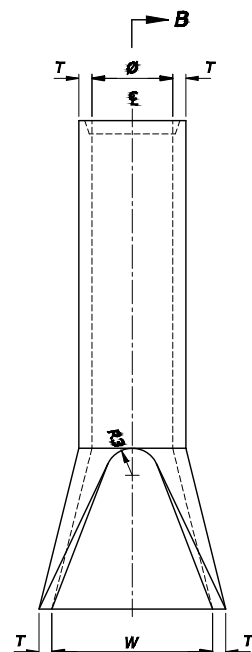
PLANTA



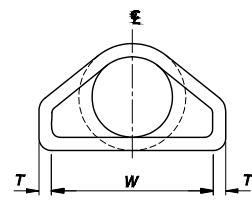
ELEVACIÓN



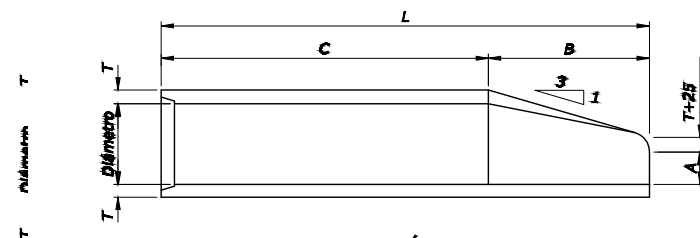
SECCIÓN A-A
Escala 1:2500



PLANTA



ELEVACIÓN



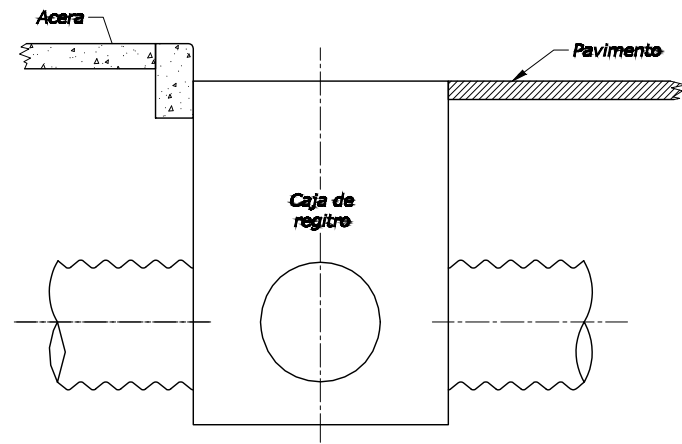
SECCIÓN B-B
Escala 1:2500

NOTAS:

1. Se permiten variaciones en el diseño y dimensiones, teniendo en cuenta las normas del fabricante.
2. Fabricar la sección final de la salida con un final de surco y la sección de final de admisión con un final de lengua.
3. Modifique la pendiente del terraplén para ajustar a la pendiente final de la sección acampanada.

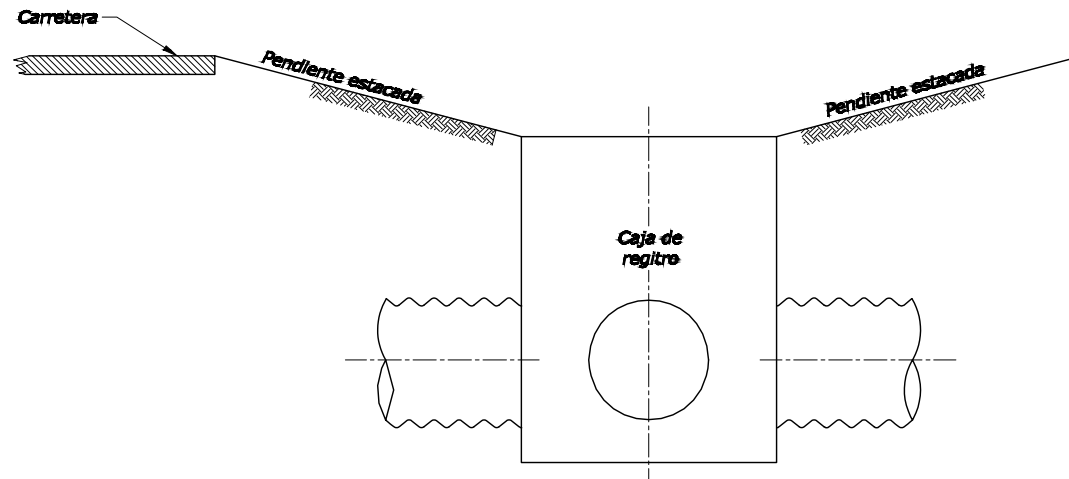
TERMINACIONES PARA ALCANTARILLAS DE TUBERÍA REDONDA										
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	DIMENSIONES									
	T	A	B	C	L	W	F	R1	R2	R3
400	63	225	675	1150	1825	900	475	388	300	188
500	69	225	900	925	1825	1050	550	412	325	125

UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	7
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.			Detalles estructurales: Terminaciones para tubería de concreto
Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011			



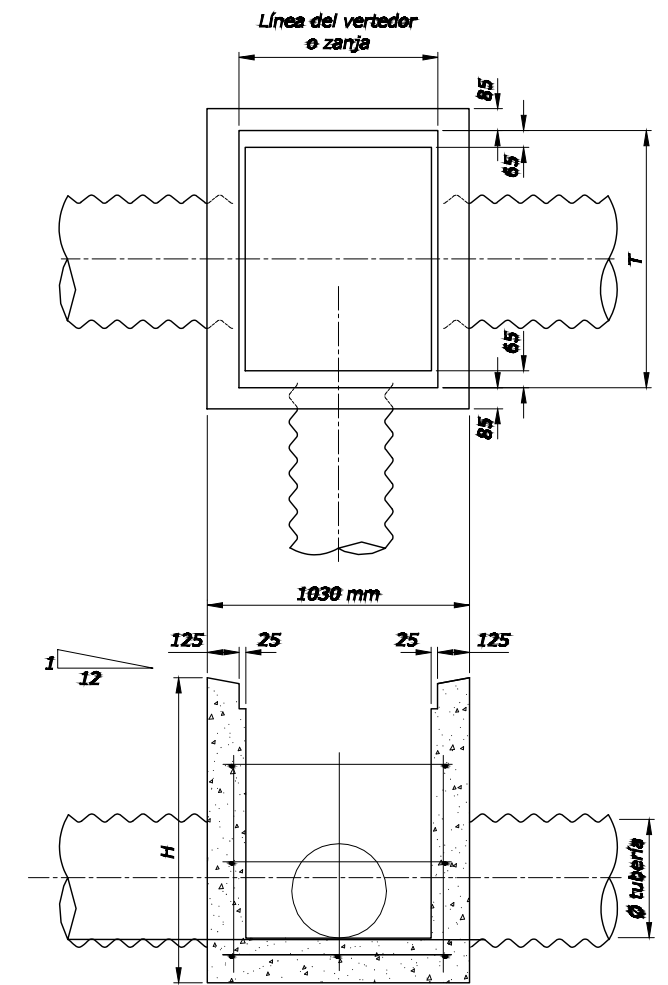
**INSTALACIÓN TÍPICA
EN SECCIÓN DE CONTROL**

Escala 1:2500



**SECCIÓN TÍPICA DE
INSTALACIÓN EN ZANJA**

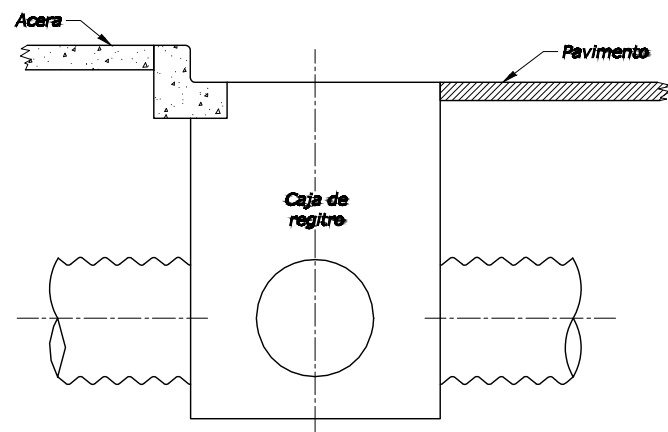
Escala 1:2500



Todo el acero de refuerzo
#4 a 300mm±
Curvado para dejar libre
la tubería.

DETALLE DE ENTRADA

Escala 1:2500



**INSTALACIÓN TÍPICA
EN SECCIÓN DE CONTROL Y VERTEDOR**

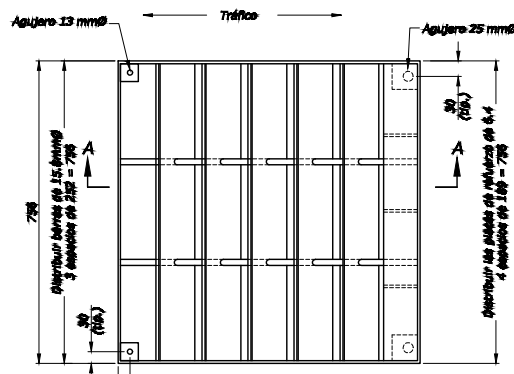
Escala 1:2500

NOTAS:

1. **CONCRETO:** Aristas expuestas cortes de 20mm a menos que se indique otra cosa. Darle a todas las caras del concreto un acabado Clase 1.

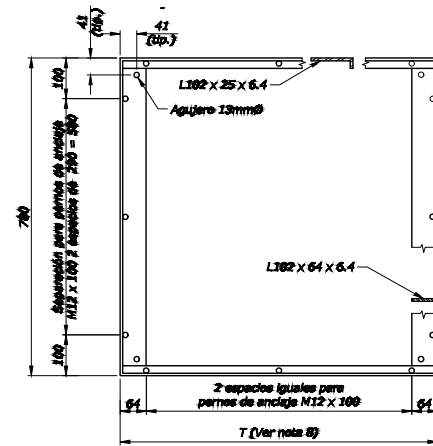
2. El recubrimiento mínimo de cualquier varilla será de 50mm a menos que se indique otra cosa.

<p>UNIVERSIDAD LATINA</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL</p>	<p>Escala</p> <p>Indicadas</p>	<p>Firma</p> <p>Laura Méndez Mesén</p>	<p>Lámina</p> <p>8</p>
	<p>Propuesta de diseño para el mejoramiento del sistema de drenaje en el camino de calle Potrerillo (4-07-029), Belén.</p>		
<p>Detalles estructurales: Cajas de registro</p>			<p>Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011</p>



DETALLE DE LA REJILLA

Escala 1:2500



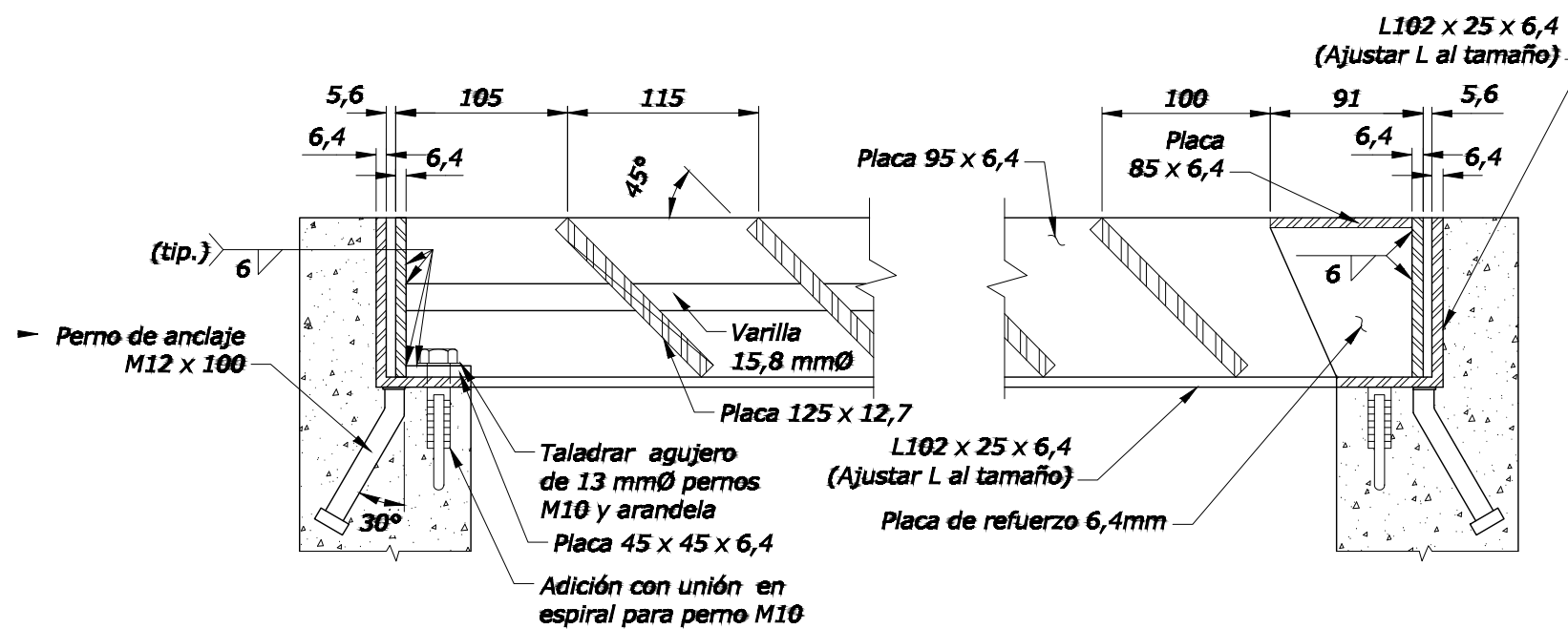
DETALLE DEL MARCO

Escala 1:2500

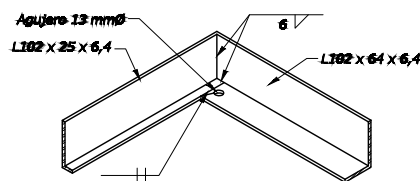


SECCIÓN A-A

Escala 1:2500

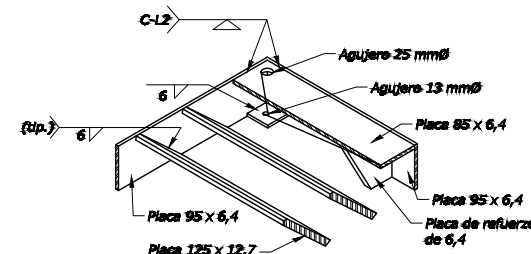


SECCIÓN B-B



DETALLE DE LA ESQUINA DEL MARCO

Escala 1:2500



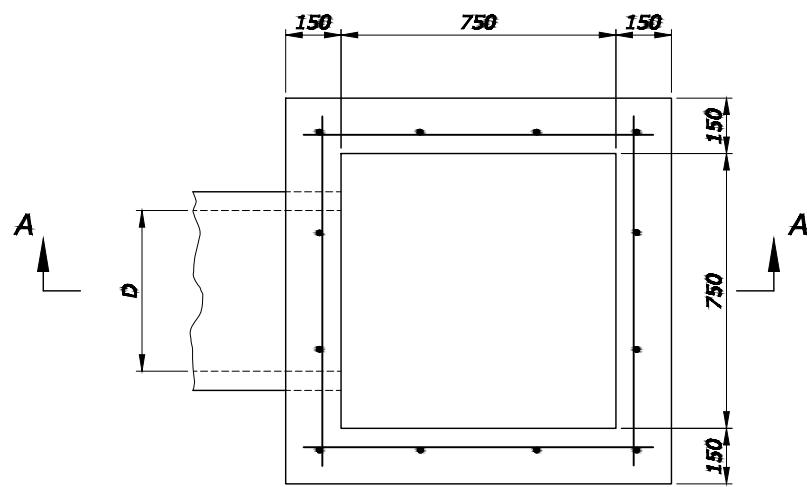
DETALLE DE LA ESQUINA DE LA REJILLA

Escala 1:2500

NOTAS:

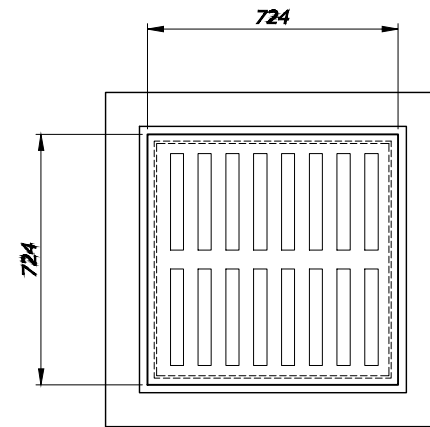
1. **ACERO ESTRUCTURAL: AASHTO M 183 (ASTM A 36M).**
2. **PERNOS Y ARANDELAS: ASTM A 307, Galvanizados.**
3. **ANCLAS ROSCADAS CONCRETAS: Adición con unión en espiral para perno M10 o similar aprobado.**
4. **ANCLAJES CON CABEZA PARA CONCRETO: Soldar al marco tal que tenga una penetración completa y soldado en el extremo.**
5. **SOLDADURA: Soldar en conformidad con las especificaciones. A no ser que el sello indicado de otra manera solde todas las uniones con un filete de tamaño mínimo, basados en el grosor del material. Alise todas las superficies de contacto. ACABADO: Galvanizado después de fabricación.**
6. **Peso estimado, marco y rejilla (756 x 756) 97,5 kg. El peso aumenta o disminuye en 12,7 kilogramos por cada 115mm de variación.**
7. **El número de placas varía según el diámetro de tubo. Ver el Estándar 604-1.**
8. **Proporcionar el equipo en los tamaños métricos mostrados. Tamaños equivalentes acostumbrados pueden ser usados cuando los tamaños métricos no estén disponibles.**

UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	9
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.		Detalles estructurales: Marco de metal y rejilla Tipo A	
		Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011	

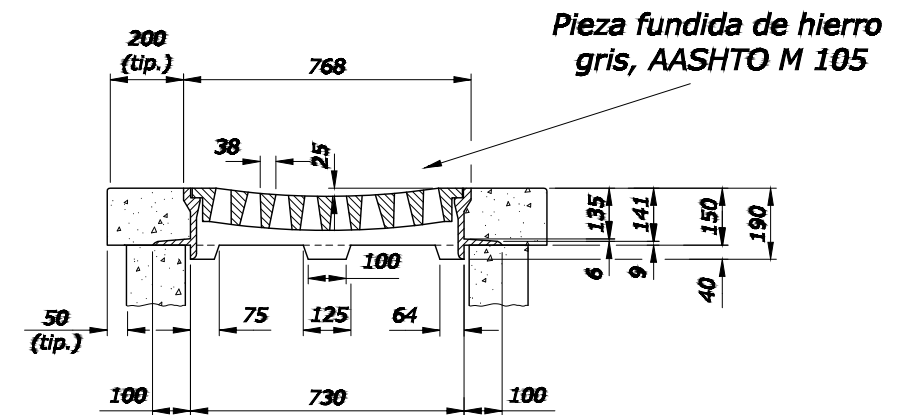


PLANTA

Escala 1:3000

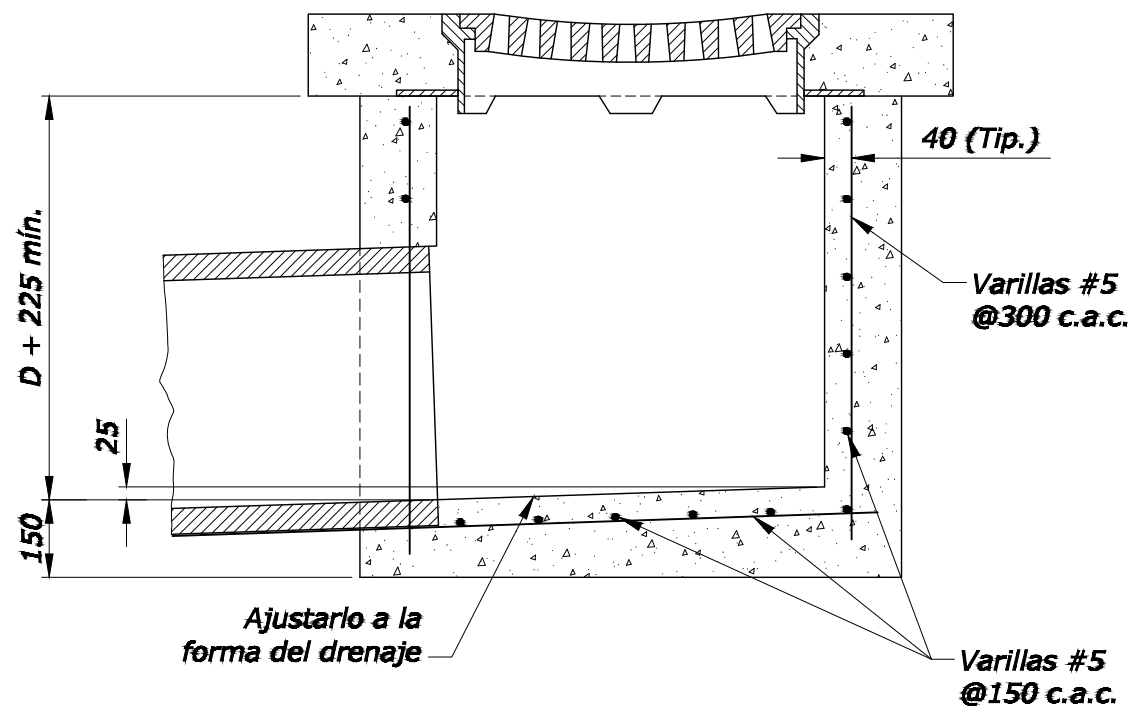


Escala 1:3000



MARCOS Y REJILLAS METÁLICAS TIPO 6B

Escala 1:2500



SECCIÓN A-A

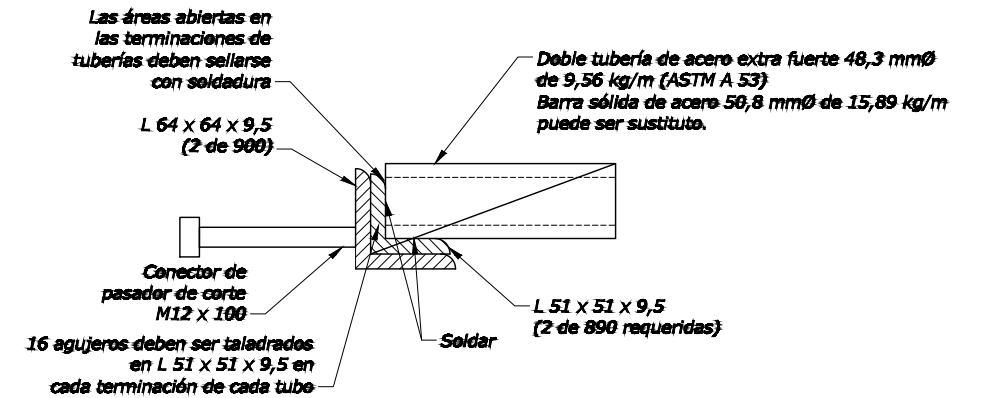
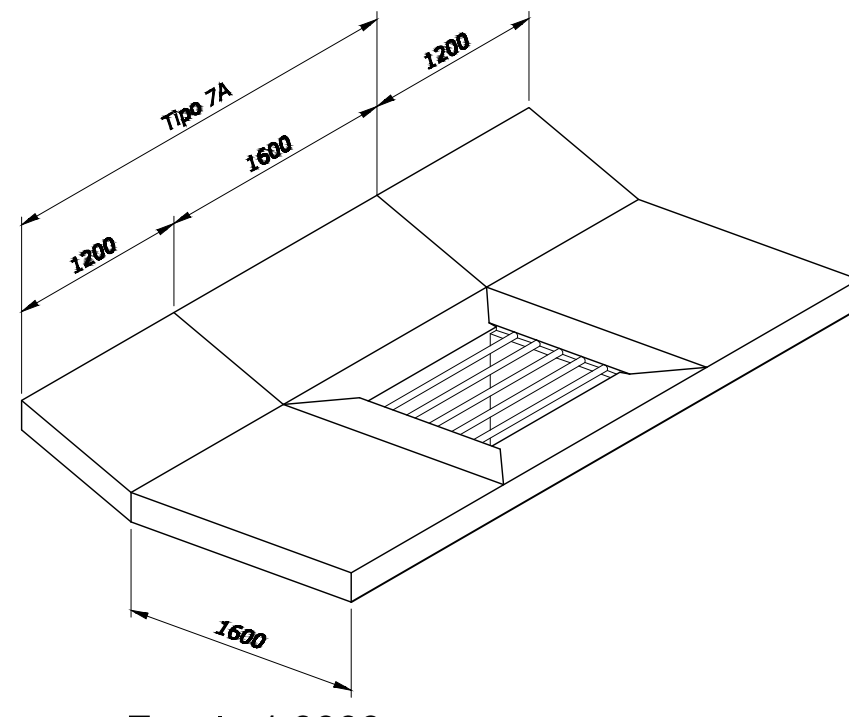
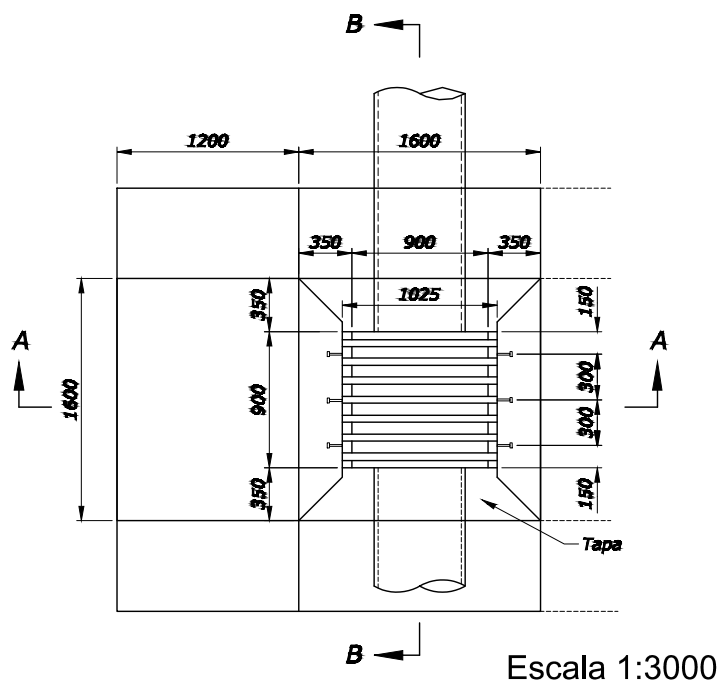
ENTRADA TIPO 6B

Escala 1:3000

NOTAS:

1. Construir las entradas paralelas a la línea de centro de la carretera y su pendiente. Para tuberías con inclinación, adaptar las entradas como lo indique el Contratante.
2. Variaciones menores en el diseño de los marcos y rejillas están permitidos mientras se sigan las indicaciones de los fabricantes.

UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	11
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Detalles estructurales: Entrada Tipo 6B		
	Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011		

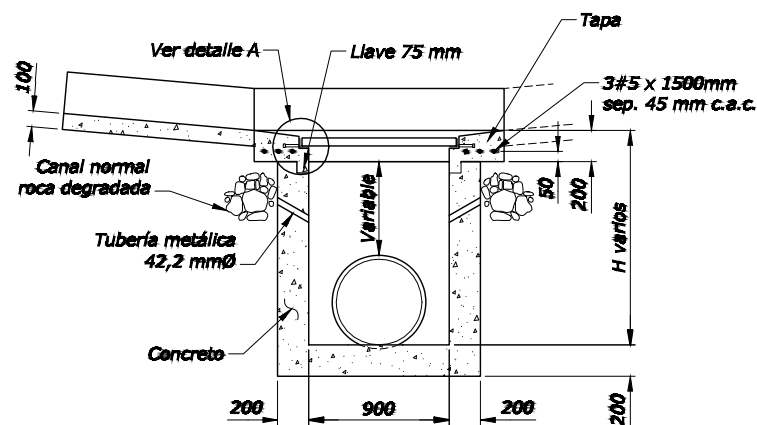


DETALLE A

Escala 1:3000

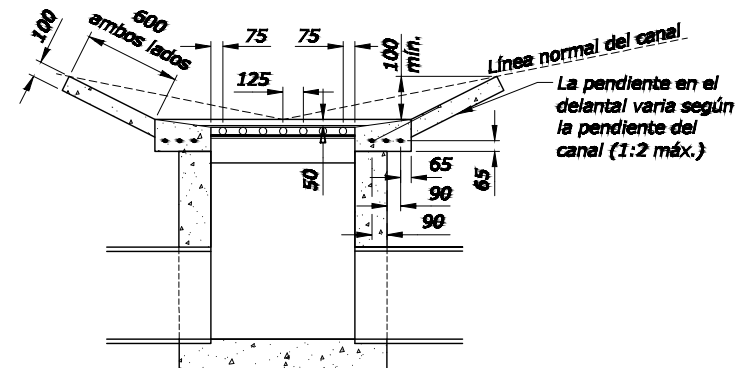
NOTAS:

1. El Tipo 7A tiene solo una cuneta simple cuando la entrada está en pendiente.
2. El canal debe ser curvado para unir suavemente a la cuneta de entrada.
3. Dimensiones exteriores de la rejilla serán 1000 x 890mm.
4. Profundidad máxima (H) es 3800mm.
5. Todas las barras de refuerzo #5 ubicadas con un recubrimiento mínimo de 40mm. En pisos, ubicar las barras a 150mm c.a.c. en cada dirección. En paredes, ubicar las barras horizontales a 150mm c.a.c. y a 300mm c.a.c las verticales.
6. Galvanizar la rejilla luego de fabricarla, de acuerdo con AASHTO M 111.
7. Métodos alternativos para el anclaje del angular de hierro son aceptables si los aprueba el Contratante.



SECCIÓN A-A

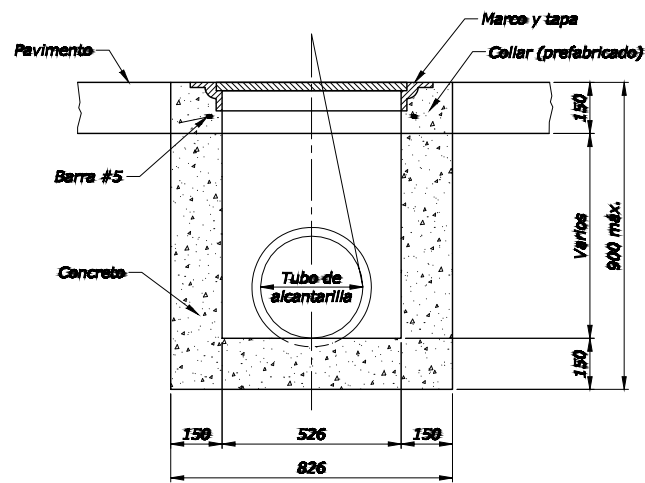
Escala 1:3000



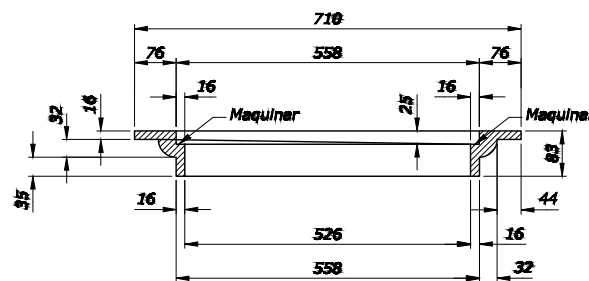
SECCIÓN B-B

Escala 1:3000

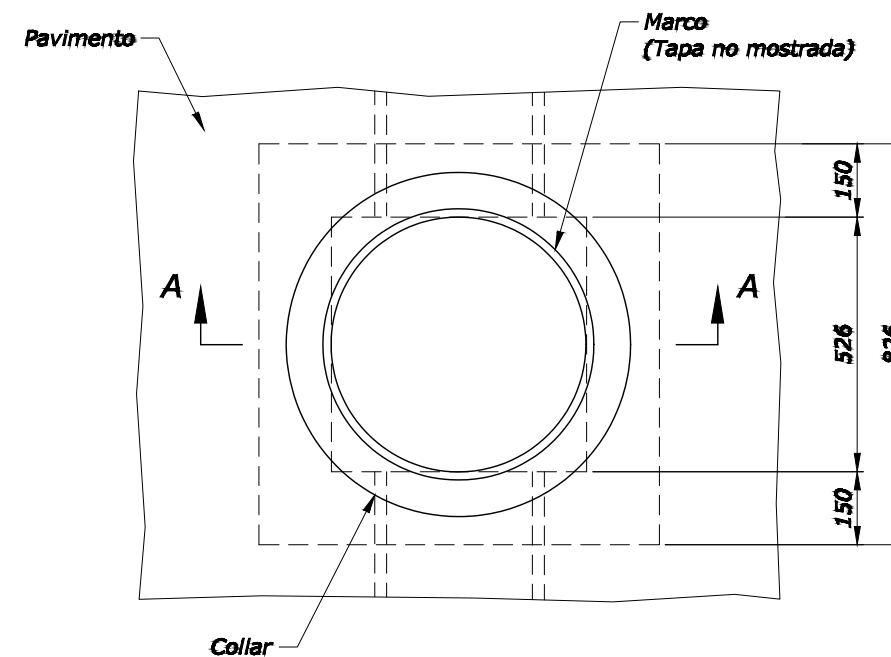
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	12
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.	Detalles estructurales: Entrada para alcantarilla Tipo 7A		
	Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011		



SECCIÓN A-A
Escala 1:2500

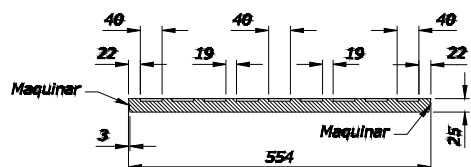


SECCIÓN B-B
Escala 1:2500

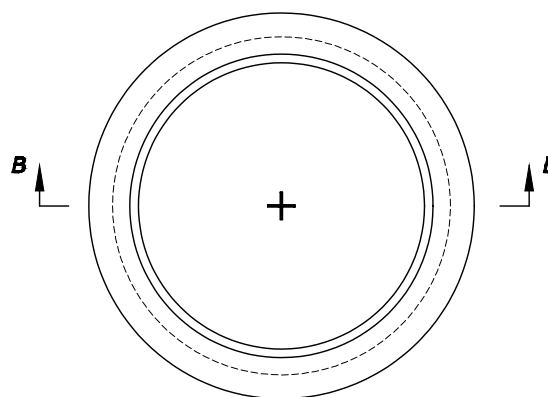


PLANTA

Escala 1:2500

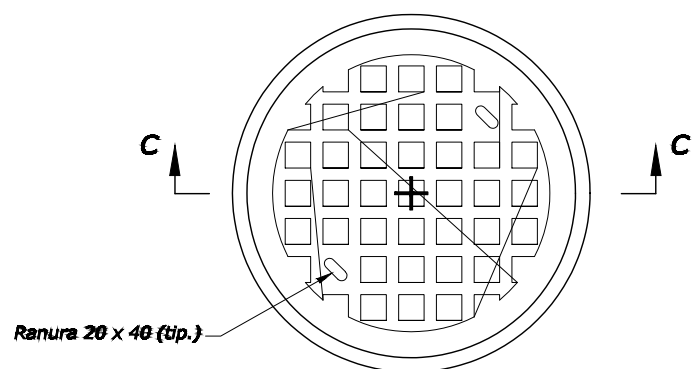


SECCIÓN C-C
Escala 1:2500



MARCO

Escala 1:2500



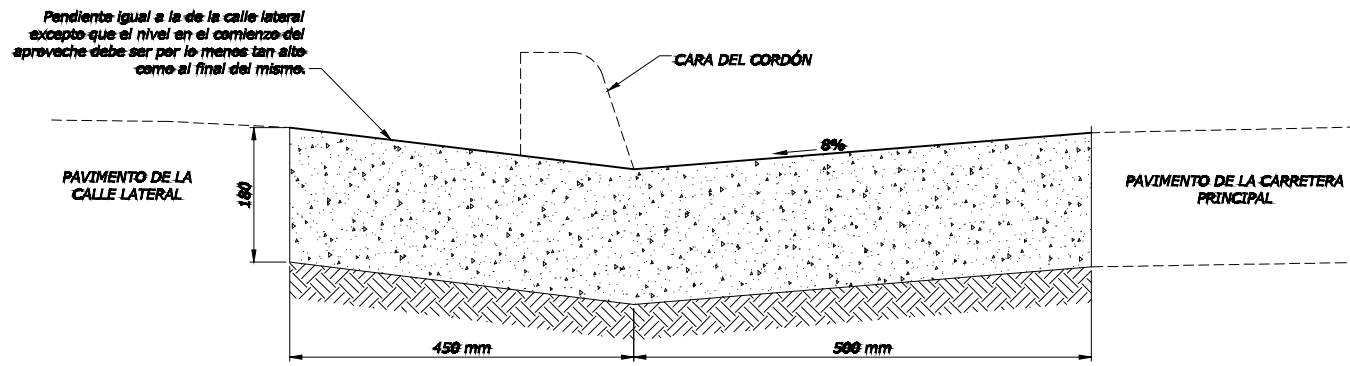
TAPA

Escala 1:3000

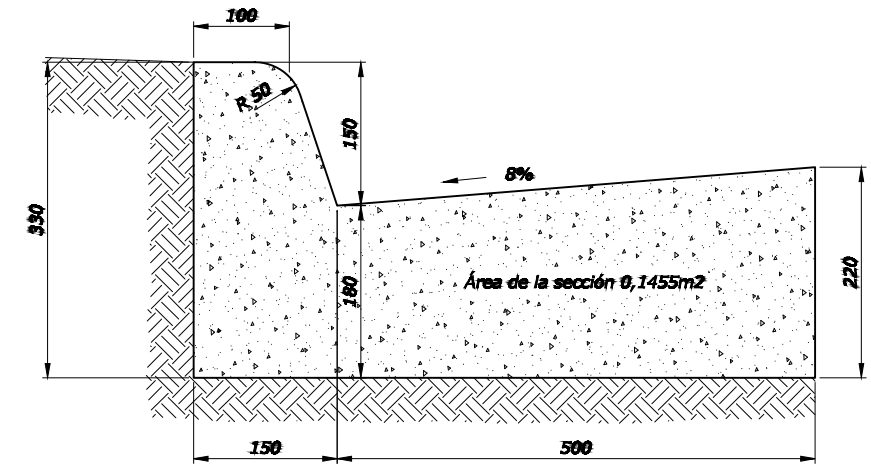
NOTAS:

1. Las dimensiones del marco y la tapa pueden ser ligeramente variadas siguiendo los estándares del fabricante.
2. Masa: (Aproximada, piezas de hierro fundido, o similar equivalente.)
Marco: $39 \pm 2 \text{ kg}$
Tapa: $38 \pm 2 \text{ kg}$
3. Todas las barras de refuerzo son #5 ubicadas con un recubrimiento mínimo de 40 mm. En pisos, ubicar las barras a 150mm c.a.c. en cada dirección. En paredes, ubicar las barras horizontales a 150 mm c.a.c. y a 300 mm c.a.c. las verticales.

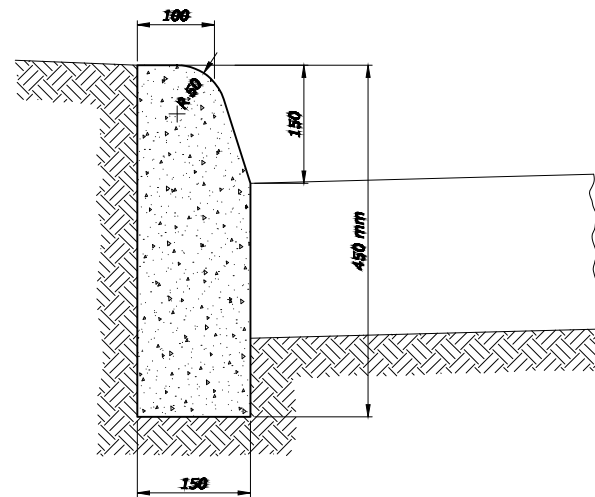
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	Indicadas	Laura Méndez Mesén	13
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.		Detalles estructurales: Pozos de Registro	
Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011			



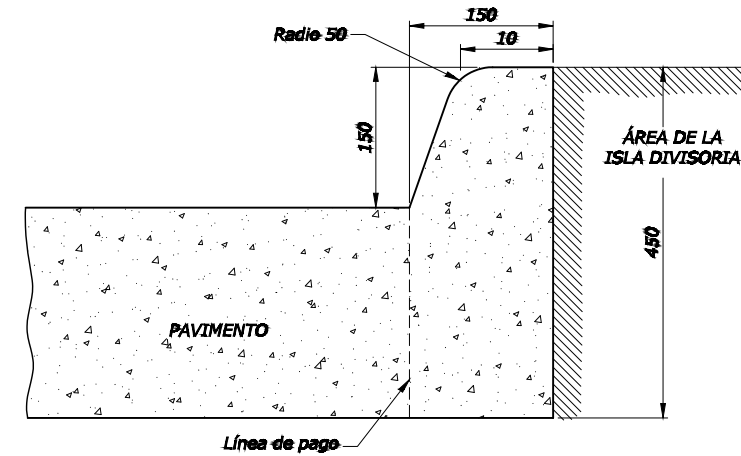
Cuneta para entradas y cruces de calles



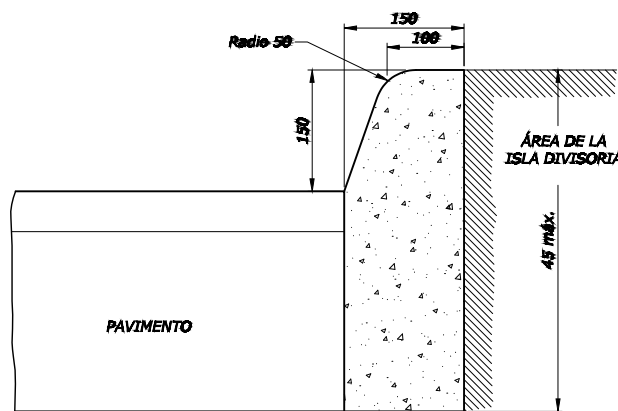
Cordón y cuneta



Cordón de carretera

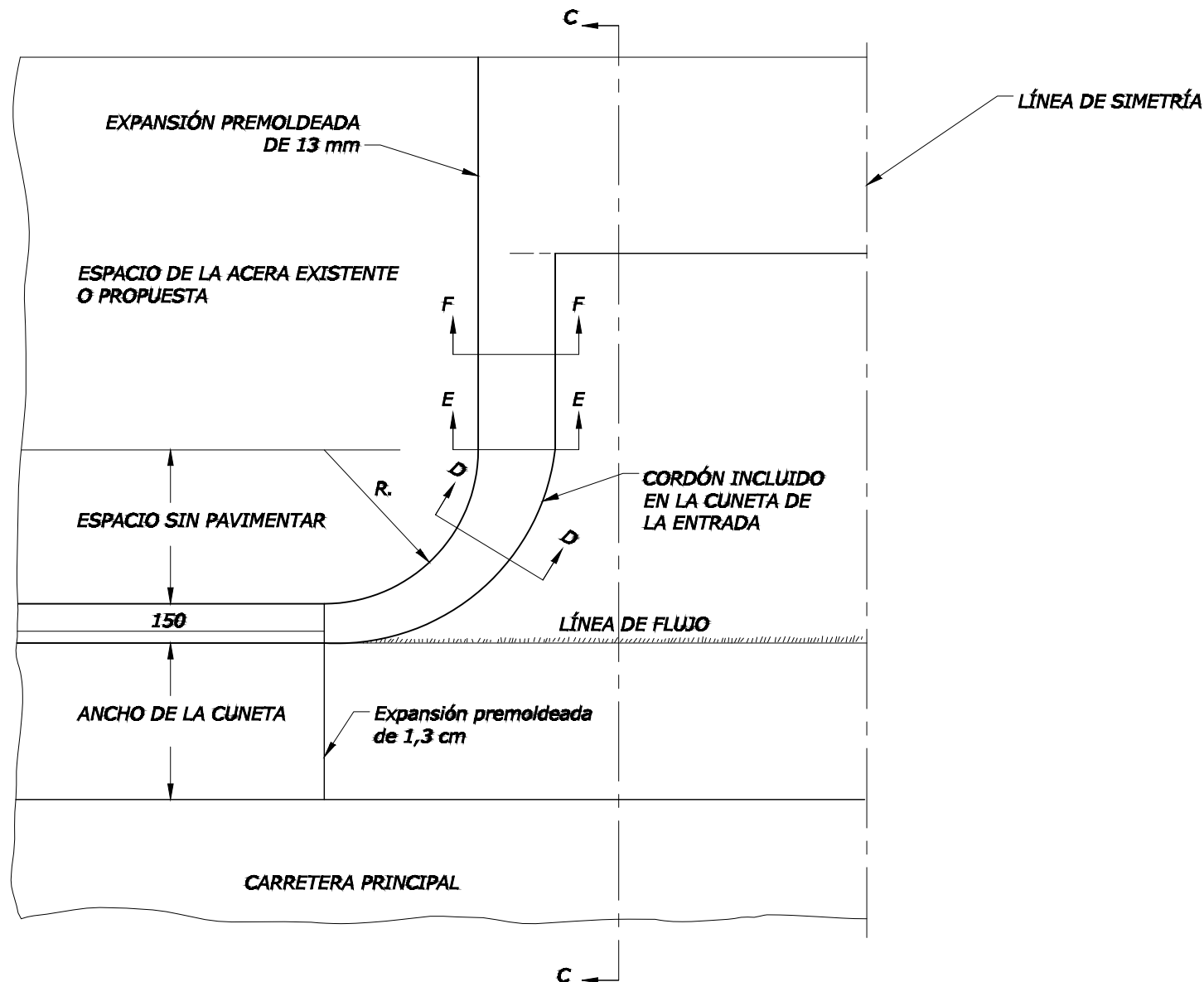


Cordón integrado en pavimentos de hormigón

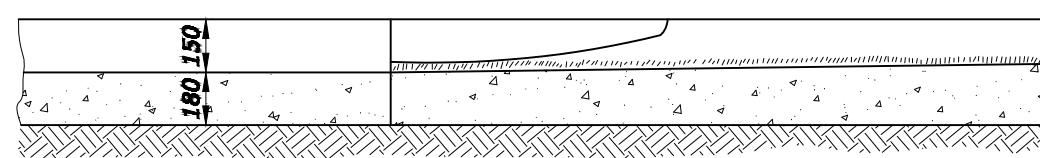


Cordón integrado en pavimento asfáltico

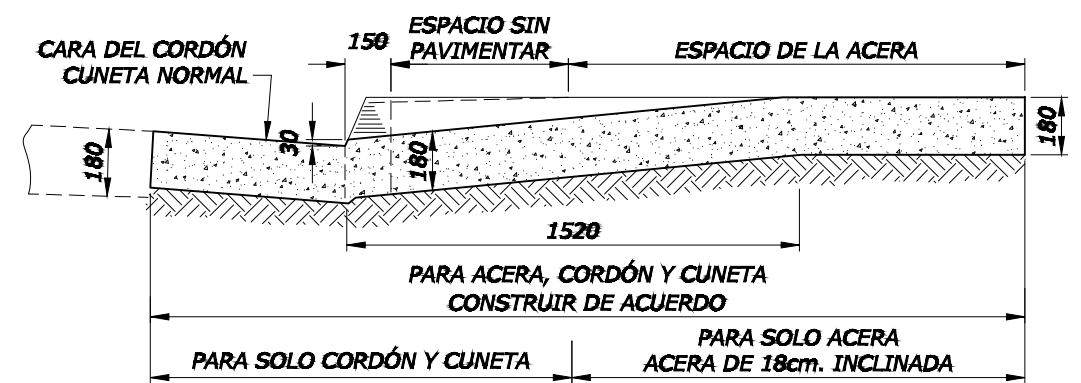
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:1500	Laura Méndez Mesén	14
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.			
Detalles estructurales: cordón y cuneta			
Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011			



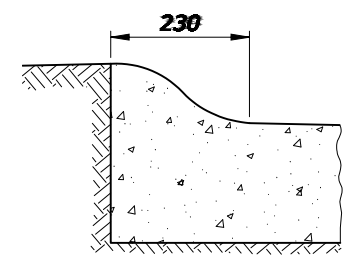
**PLANTA
(Mitad)**



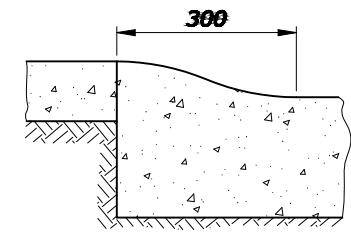
ELEVACIÓN CORTE EN LA LÍNEA DE CUNETETA



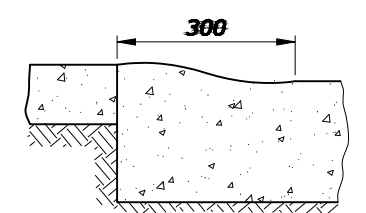
SECCIÓN C-C



SECCIÓN D-D

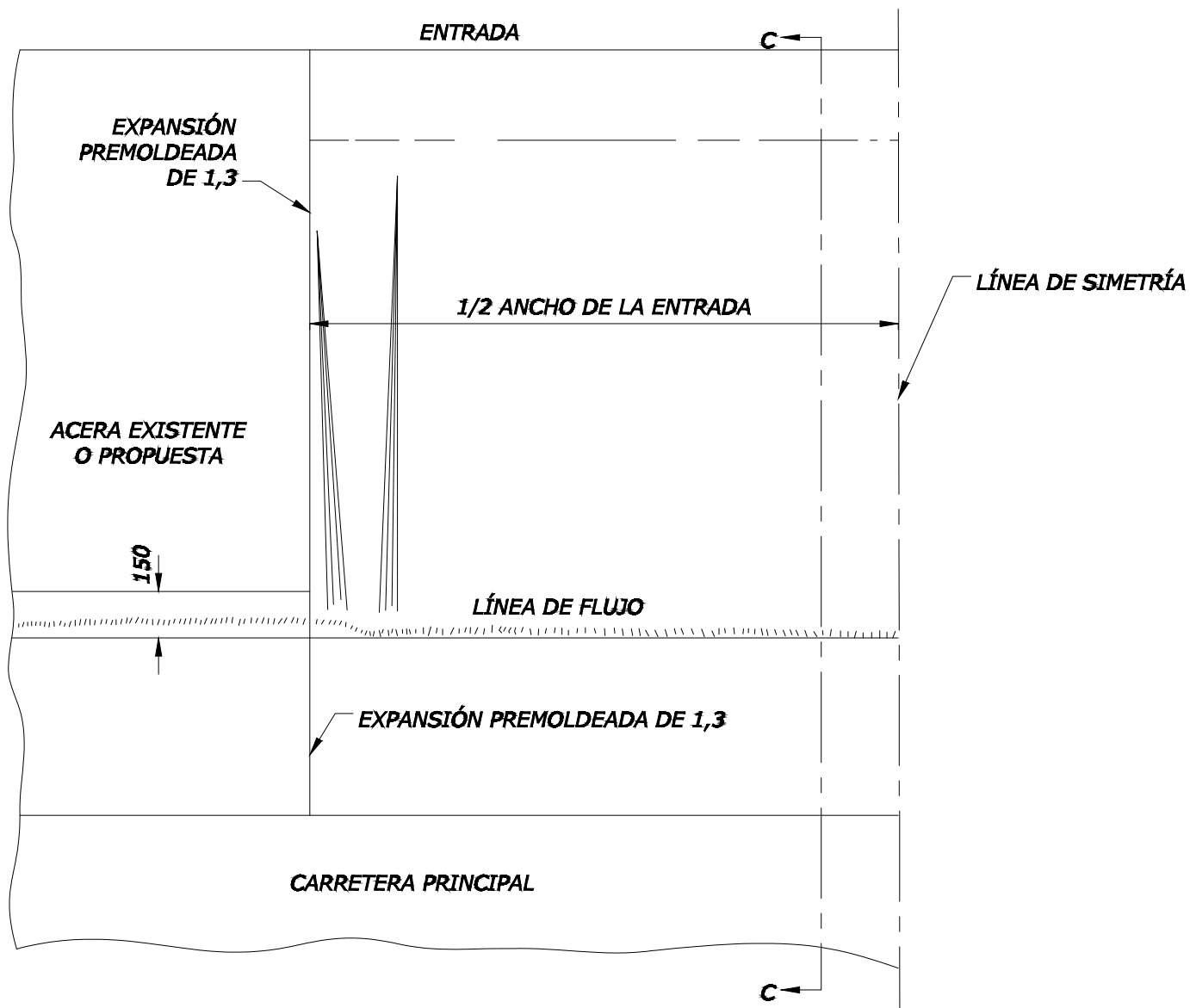


SECCIÓN E-E

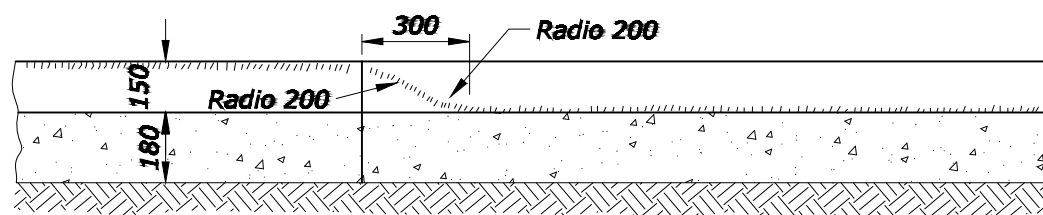


SECCIÓN F-F

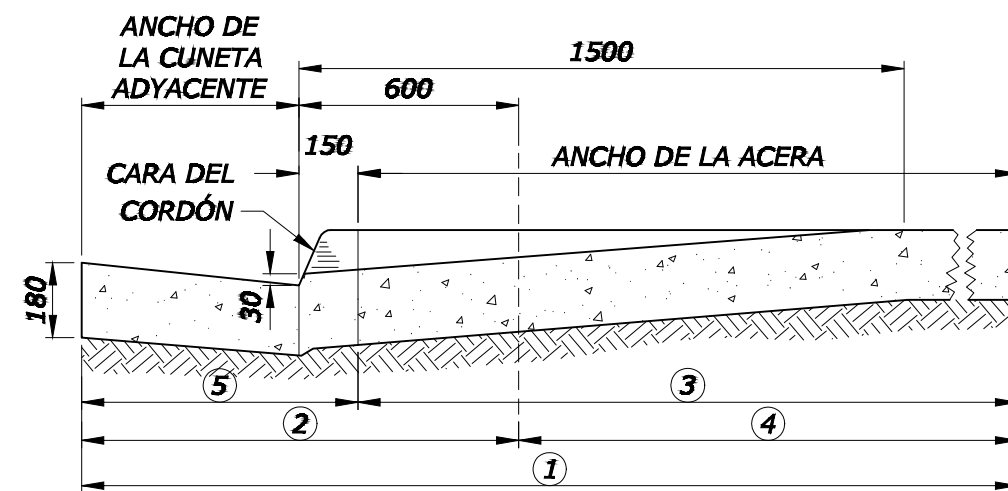
UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala 1:2500	Firma Laura Méndez Mesén	Lámina 15
	PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.		
Detalles estructurales: entradas B a través de cuneta y acera			Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011



PLANTA (Mitad)

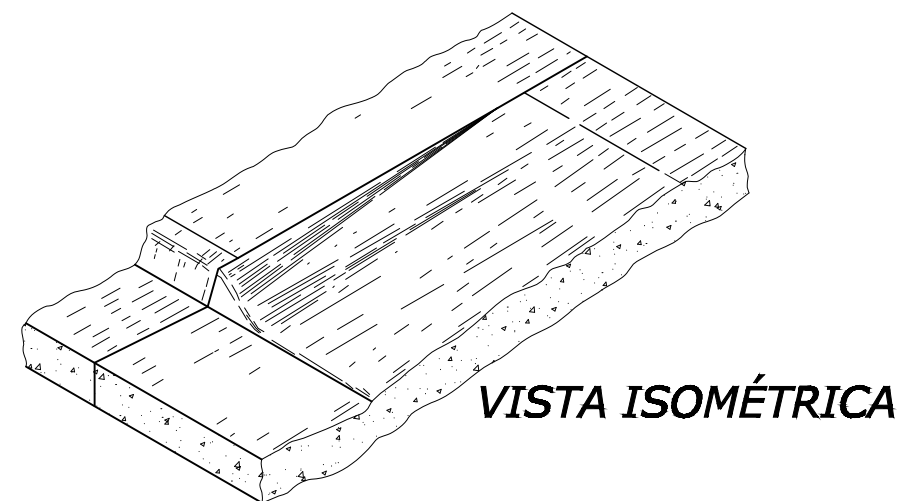


ELEVACIÓN CORTE EN LA LÍNEA DE LA CUNETETA



SECCIÓN C-C

- ① PARA ACERA, CORDÓN Y CUNETETA - CONSTRUIR DE ACUERDO.
- ② PARA CONSTRUIR INICIALMENTE CORDÓN Y CUNETETA.
- ③ PARA SOLO ACERA. ACERA DE 18cm. INCLINADA.
- ④ PARA SOLO ACERA - DESPUES DEL CORDÓN Y LA CUNETETA
- ⑤ PARA SOLO CORDÓN Y CUNETETA - DESPUES DE LA ACERA.



VISTA ISOMÉTRICA

UNIVERSIDAD LATINA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL	Escala	Firma	Lámina
	1:2500	Laura Méndez Mesén	16
PROPUESTA DE DISEÑO PARA EL MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE EN EL CAMINO DE CALLE POTRERILLO (4-07-029), BELÉN.		Detalles estructurales: entradas "C" a través de cuneta y acera	
Plano Base: Manual de diseños estándar para la construcción de carreteras, caminos y puentes de Costa Rica DE-2011			

**Anexo D: Manual técnico Productos
de Concreto para tubería de
concreto**

Capítulo 3

Tubería de concreto



Productos de Concreto, S.A. fabrica tuberías de concreto con y sin refuerzo, bajo el sistema de prensa radial “Packer Head” y de vibrocompactado, siguiendo un estricto control de calidad.

Su diseño y fabricación se ajustan a distintas normas técnicas nacionales e internacionales, tales como: ASTM (American Society for Testing and Materials), ASCE (American Society of Civil Engineer), EN (Normas Europeas), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica).

- Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado (INTE 16-11-04-08, ASTM C-14, AASHTO M86).
- Tubos de concreto reforzado para alcantarillado. (INTE 16-11-01-08, ASTM C-76, AASHTO M170).
- Tuberías especiales, pozos, alcantarillas de cuadro, tuberías para hincado, tuberías no circulares, (ASTM C-361, ASTM C-478, ASTM C-655, ASTM C-789, ASTM C-850, ASTM C-985, ASTM C-1433, EN1916, EN1917, ASCE 27, AASHTO M199, AASHTO M259, AASHTO M273).

El éxito de las tuberías de concreto radica en su facilidad de instalación, resistencia, desempeño, versatilidad, durabilidad, seguridad y economía, siendo la opción más viable y probada para solventar la conducción de fluidos.



Máquina de vibrocompactado tipo Multicast 250.

3.1 Ventajas de las tuberías de concreto

Las tuberías de concreto presentan diferentes características que las hacen idóneas para la conducción de fluidos sean estos desechos industriales, aguas pluviales, aguas negras o agua potable en situaciones diversas de suelo, rellenos o cargas externas, tales como:

a) Instalación

- Es fácil de instalar.
- No presentan problemas de flotación.
- Las tuberías de concreto son un sistema rígido donde un 85% de la resistencia es aportada por la tubería y solo un 15 % es aportado por el material de relleno. Por lo cual se puede garantizar un 85 % de la resistencia del sistema desde antes de que la misma llega al sitio de construcción.
- Mayor seguridad del personal en el proceso constructivo.
- Flexibilidad para acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- El mayor número de uniones por metro lineal con respecto a otros tipos de tubería permite mantener el alineamiento y la pendiente más fácilmente.; así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y el sismo.
- Las tuberías de concreto son menos susceptibles de daños en la etapa de construcción.

El ritmo de la instalación depende más de la excavación que de la colocación del tubo. Si bien el tubo de concreto es más pesado que el de otros materiales, ambos requieren maquinaria especializada para su instalación cuando se trata de los diámetros más comunes.

b) Durabilidad

- Resistentes al fuego. En caso de posibles incendios urbanos o forestales el tubo de concreto garantiza su funcionamiento y estabilidad.
- Soporta aguas agresivas con recubrimientos especiales y/o aditivos.
- Por ser una tubería rígida las deformaciones son mínimas tanto en la instalación como en la operación.

Teniendo en cuenta la conformación estructural del tubo y su exposición hidráulica, se ha demostrado que la tubería de concreto tiene una vida útil de al menos 100 años, dos veces más que otros materiales.

c) Calidad

- Resiste esfuerzos cortantes o movimientos verticales.
- Resistentes a la infiltración y exfiltración.
- Cumple con normativa bajo estrictos controles en el proceso de fabricación.
- El concreto es uno de los materiales de construcción más estudiado y analizado, ya que sus componentes y su funcionamiento en conjunto puede ser medido con precisión.

d) Economía

Si se evalúa todo el ciclo de vida del sistema son económicas considerando: costo inicial, vida útil del material, costo de mantenimiento, costo de reemplazo, valor de rescate, seguridad y desempeño.

e) Sostenibilidad

- Se fabrican de materiales naturales locales.
- Las tuberías de concreto son inocuas para la salud de las personas y el medio ambiente.
- La fabricación de las tuberías requiere poca energía y el material es un 100% reciclable
- Menor huella de carbono que otros tipos de tubería.
- Permite implementar diversas estrategias que ayudan a obtener la certificación LEED (Leadership in Energy & Environmental Design).

El tubo de concreto es amigable con el ambiente tanto por el material de que están hechas, su forma de producción y su desempeño una vez instaladas. No emite desechos tóxicos en su fabricación o durante su funcionamiento, en caso de incendio no libera contaminantes.

El concreto es el material de construcción de menor consumo de energía específica.

f) Versátil

- Pueden tener otras formas aparte de las circulares dependiendo de las necesidades.
- Se adapta a distintos requerimientos de operación o instalación.

3.2 Tipos de tuberías

Tubos sin refuerzo

INTE 16-11-04-08

ASTM C-14 / AASHTOM 86

Las tuberías de concreto sin refuerzo C-14 se fabrican en tres clases diferentes, denominadas clase I, II y III, siendo la más usual la clase I, mientras que las clases II y III se fabrican bajo pedido.

En la tabla 3.1 se muestra las resistencia mínima requerida para cada tipo según ASTM C-14

Tabla 3.1 Requerimientos físicos y dimensionales de las tuberías C-14									
Diámetro	Clase I			Clase II			Clase III		
	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima	Espesor mínimo de la pared	Resistencia mínima	Resistencia mínima
mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm	mm	kN/m	N/m/mm
100	16	22	220	19	29	290	19	35	350
150	16	22	147	19	29	193	22	35	233
200	19	22	110	22	29	145	29	35	175
250	22	23.5	94	25	29	116	32	35	140
300	25	26.5	88	35	33	110	44	38	127
375	32	29	77	41	38	101	47	42	112
450	38	32	71	50	44	98	57	48	107
525	44	35	67	57	48	91	69	56	107
600	54	38	63	75	52.5	88	85	64	107
675	82	41	61	94	57.5	85	94	67	99
750	88	44	59	107	63	84	107	69.5	93
825	94	46	56	113	64	78	113	71	86
900	100	48	53	119	65.5	73	119	73	81

La resistencia está dada en KN/m. Para poder comparar con la norma ASTM C 76 también se dan los valores en Newtons por m lineal de tubería por mm de diámetro.

Estas tuberías generalmente son utilizadas en conducciones con rellenos de altura moderada, siendo sus usos principales:

- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones.
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales.

Tubos con refuerzo

INTE 16-11-01-08

ASTM C-76 / AASHTOM 170

Las tuberías de concreto con refuerzo C-76 se fabrican en cinco clases diferentes, denominadas clase I, II, III, IV, y V, siendo la mas usual la clase III, mientras que las clases restantes se fabrican bajo pedido.

Tabla 3.2 Resistencia de las tuberías C 76

Clase	Carga de grieta	Carga última	Diámetro mínimo	Diámetro máximo
mm	N/m/mm	N/m/mm	mm	mm
I	40	60	1500	2700
II	50	75	300	2700
III	65	100	300	2700
IV	100	150	300	2100
V	140	175	300	1800

La resistencia está dada en Newtons por m lineal de tubería por mm de diámetro.

La carga de grieta es la que produce una grieta de 0.3 mm de ancho en 30 cm de largo.

Estas tuberías son aptas para situaciones donde se necesitan mayores diámetros o una mayor resistencia estructural que la C-14, tal como soportar grandes rellenos y/o tránsito de vehículos pesados.

Sus usos principales son:

- Alcantarillas en carreteras.
- Alcantarillas de aguas pluviales en ciudades y urbanizaciones.
- Colectores de aguas negras, pluviales y de desechos industriales.
- Situaciones donde la falla estructural puede poner en riesgo la vida humana o la propiedad (las tuberías de concreto reforzado aun después de haber fallado retienen su forma y no colapsan).

Tuberías y accesorios especiales

Dependiendo de los requerimientos de carga, forma o durabilidad se pueden fabricar diversos elementos, tuberías con recubrimientos sintéticos o con disipadores de energía para disminuir la velocidad del agua.

Fig. 3.1 Ejemplo de tubería con disipador de energía



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En los apartados siguientes se detallan las tuberías más usuales y la norma respectiva que las rige:

ASTM C-361

Las tuberías de concreto con refuerzo C-361 se fabrican bajo pedido y su utilización es conducción de fluidos bajo una carga hidrostática máxima de 375 kPa (38 metros carga de agua).

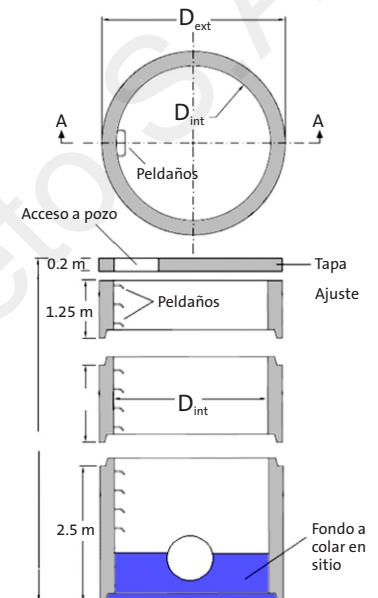
ASTM C-478, AASHTO M199, EN1917

Pozos de inspección para sistemas de tuberías circulares o rectangulares.

Los pozos estándar (Figura 3.2) se pueden fabricar en diversos diámetros internos desde 1.2 m hasta 2.4 m. Los largos de las piezas componentes son 1.25 m, 2.5 m y piezas de ajuste.

Adicionalmente los pozos cuentan con una tapa de concreto con la prevista estándar de acceso y gradas metálicas o sintéticas según los requerimientos.

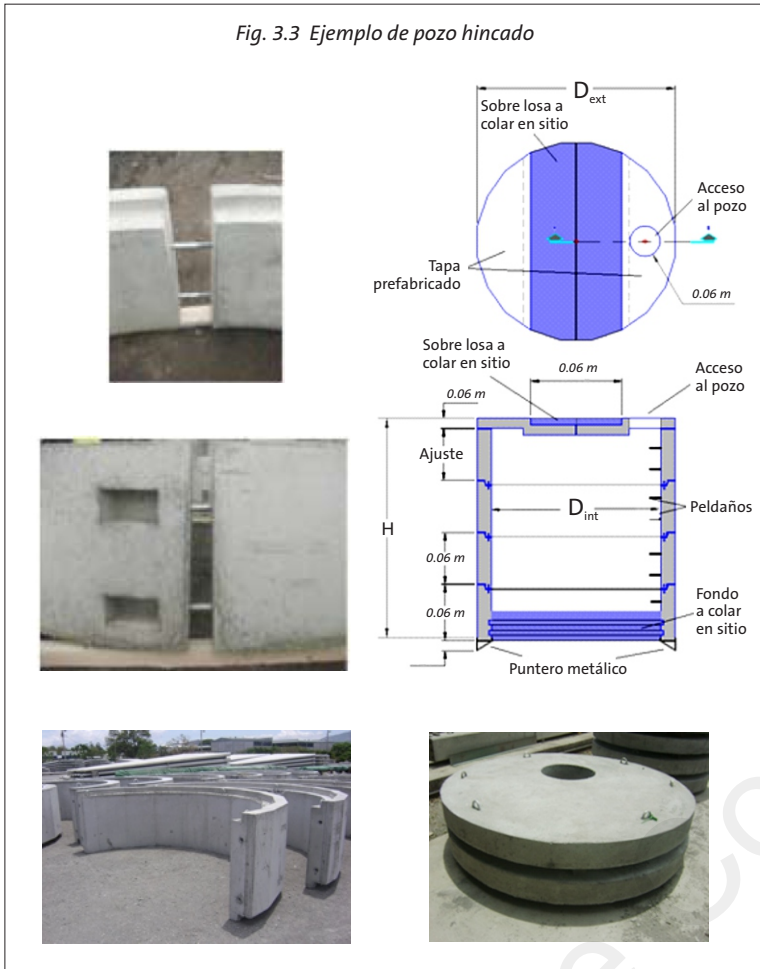
Fig. 3.2 Pozo estándar



Dependiendo de las condiciones del sitio o la profundidad requerida del pozo se pueden suministrar pozos para hincar los cuales cuentan con las siguientes características:

- Están compuestos por elementos de 1 m de alto, una puntera de acero y tapas de concreto enteras o en segmentos dependiendo del diámetro del pozo.
- Los pozos hincados se pueden hacer de diversos diámetros, usualmente 3.2 m y 2.4 m.
- El fondo de los pozos se cola en sitio.
- Las aperturas de los pozos para conectar las tuberías se hacen en sitio.
- Las escalerillas pueden ser metálicas o sintéticas según se requiera.
- La resistencia del concreto es de 350 kg/cm².
- Los anillos dependiendo del diámetro se hacen en una pieza o en dos.
- El sistema requiere del uso de bentonita y maquinaria de excavación tipo almeja.

Fig. 3.3 Ejemplo de pozo hincado



ASTMC-985

Las tuberías de concreto sin refuerzo C-985 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas INTE 16-11-04-08 y ASTM C-14; siendo su uso normalmente alcantarillas o colectores pluviales.

EN1916, ASCE 27

Bajo la norma EN 1916 se encuentran cubiertas las tuberías para hincado, las tuberías con fibra, y las tuberías con recubrimientos especiales para corrosión.

Las tuberías hincadas (Fig. 3.5) aparecen en el país por primera vez en el Proyecto de Subcolector San Miguel en Desamparados, siendo sus principales ventajas:

- Menos polvo y ruido
- Menor riesgo de accidentes
- Menor impacto en el tráfico
- Menores destrozos en carreteras
- Menor daño en redes de tuberías existentes
- Menor impacto ambiental
- No es necesario bajar el nivel friático
- Menor riesgo de hundimientos en carreteras y edificios
- Los trabajos son más independientes de las condiciones climáticas

Fig. 3.5 Tubería de concreto para hincar



ASTMC-655

Las tuberías de concreto con refuerzo C-655 se fabrican bajo pedido para cargas de diseño particulares no cubiertas en las normas ASTM C-76, ASTM C-361 e INTE 16-11-01-08, siendo su uso normalmente alcantarillas o colectores pluviales.

ASTM C-789, ASTM C-850, ASTM C-1433, AASHTO M259, AASHTO M273

Alcantarillas de cuadro para pasos a desnivel, cruce de carreteras o alcantarillas. Sus tamaños variarán de acuerdo con los requerimientos de 90 x 60 m a 3.60 x 360 m.

Fig. 3.4 Sistema de alcantarillas de cuadro



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En lo que respecta a la tubería su tamaño, espesor y tipo de junta a emplear dependerá de las condiciones específicas del suelo, la distancia entre pozos y el sistema de hincado a utilizar.

En la Fig. 3.6 se muestra el proceso general de hincado el cual consiste en bajar a un pozo de lanzamiento una máquina tuneladora que abre un túnel cuyo diámetro es ligeramente mayor al de la tubería a hincar. La tubería se va bajando de una a una en el pozo de lanzamiento y por medio de un gato hidráulico se empuja a la sección de tubería la cual empuja a su vez a la máquina tuneladora.

En el sistema mostrado la tierra disuelta sale por medio de un sistema de bombeo en una suspensión de bentonita, la cual se usa también para disminuir la fricción entre el tubo y el suelo.

Una vez que se alcanza la distancia deseada la máquina tuneladora sale por un pozo de recepción.

La distancia que se pueda alcanzar entre pozos dependerá de la resistencia del concreto de la tubería, el espesor de la tubería, de la máquina de excavación, de la estación de hincado, del suelo circundante, de la fricción que se genere con la tubería, de la pericia del operario, de la rectitud de la excavación, del uso o no de estaciones intermedias de hincado, etc.

Fig. 3.6 Sistema de hincado



Fuente: Herrenknecht, Tunneling System.

ASTM C-506, ASTM C-507, AASHTO M206, AASHTO M207

Tuberías elípticas para alcantarillado pluvial o sanitario.

3.3 Características físicas de las tuberías y uniones

Geometría de las tuberías

La geometría de los tubos varía de acuerdo con el diámetro y el sistema de producción. En las Tablas 3.3 y 3.4 se muestra la geometría de los tubos para los diámetros menores o iguales a 1200 mm y en las Tablas 3.5 y 3.6 los tubos para tuberías mayores a 1200 mm.

Las dimensiones son solamente de referencia y pueden variar por temas de producción o desmolde.

Los pesos indicados son para tuberías clase III, según ASTM C76 con pared tipo B.

Fig. 3.7 Geometría de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 m

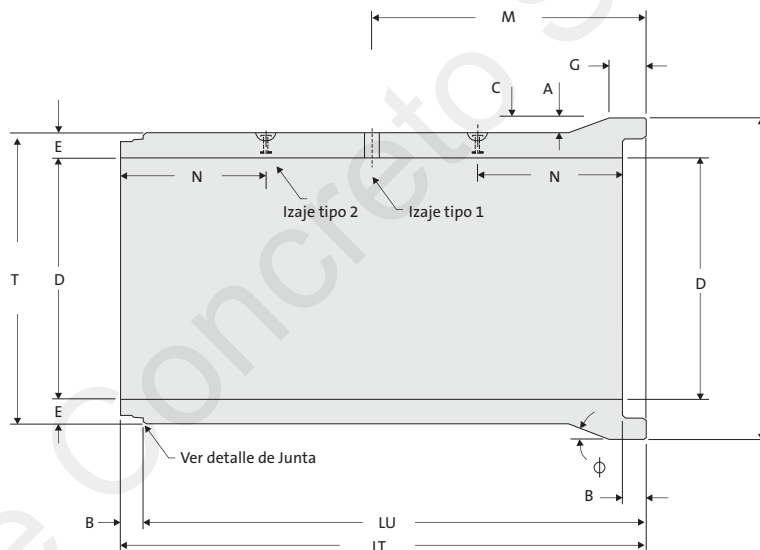


Tabla 3.3 Dimensiones de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm

Diámetro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	A mm	B mm	C mm	D mm	E mm	F mm	G mm	T mm	φ grados
300	2500	2590	213	52	90	105	300	53	510	130	406	30
400	1250	1340	349	50	90	110	400	60	620	130	520	30
	2500	2590	551	50	90	110	400	60	620	130	510	30
500	1250	1340	393	45	90	115	500	70	730	150	640	30
	2500	2590	760	45	90	115	500	70	730	150	615	30
600	1250	1340	517	45	90	120	600	75	840	150	750	30
	2500	2590	995	45	90	120	600	75	840	150	720	30
700	1250	1340	678	40	90	125	700	85	950	180	870	30
	2500	2590	1306	40	90	125	700	85	950	180	825	30
800	1250	1340	857	35	90	130	800	95	1060	180	930	30
	2500	2590	1656	35	90	148	800	113	1060	180	948	30
	2500	2590	1714	35	90	130	800	95	1060	180	930	30
900	1250	1340	997	35	90	135	900	100	1035	180	1100	30
	2500	2590	1937	35	90	154	900	119	1054	180	1054	30
	2500	2590	1994	35	90	135	900	100	1035	180	1035	30
1000	2500	2600	2195	30	100	140	1000	110	1280	190	1220	30
1200	2500	2600	3239	30	100	155	1200	125	1510	190	1450	30
	2500	2615	3122	75	115	202	1200	125	1600	180	1450	20

Fig. 3.8 Geometría de las juntas de las tuberías con diámetros menores o iguales a 1200 mm

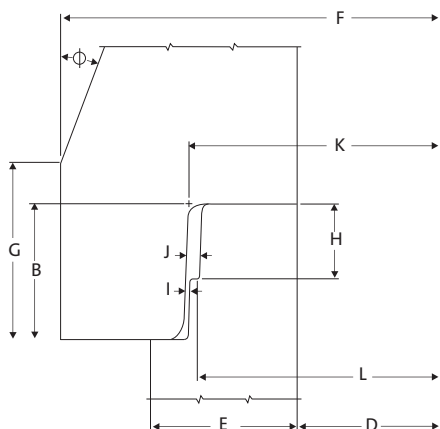


Tabla 3.4 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros menores o iguales a 1200 mm

Diámetro nominal mm	G mm	H mm	I mm	J mm	K mm	L mm	M mm	N mm	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2
300	130	44	3.2	8.3			1210	-	Agujero	-
400	130	44	3.2	8.3	475	467	625	-	Agujero	-
500	150	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
600	150	44	3.2	8.3	704	696	625	-	Agujero	-
700	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
800	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x50
900	180	44	3.2	8.3			625	-	Agujero	-
1000	180	44	3.2	8.3			1210	625	Agujero	KKG 1.3x65
1200	190	64	3.7	11.3	1343	1332	1214	625	Agujero	KKG 2.5x90
	180	64	3.7	11.3	1385	1377	1222	625	Agujero	KKG 2.5x90

Fig. 3.9 Geometría de las tuberías de diámetros mayores a 1200 mm

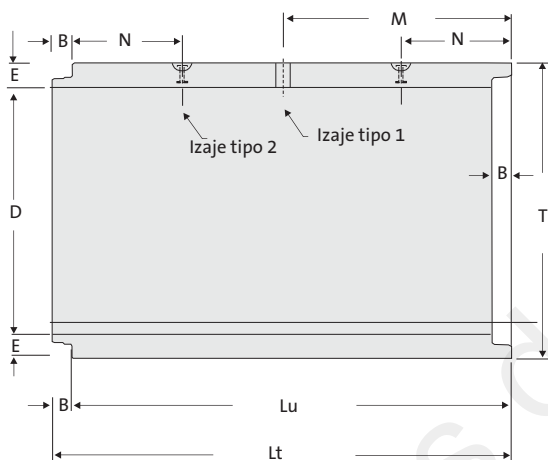


Tabla 3.5 Dimensiones de las tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Diámetro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	B mm	D mm	E mm	T mm
1350	2500	2564	3869	110	1350	138	1629
1370	2000	2120	2304	120	1370	140	1652
1500	2500	2564	4674	120	1500	150	1803
1520	1250	1370	2449	120	1520	152	1828
1520	2000	2120	3902	120	1520	152	1828
1680	1250	1350	3126	100	1680	165	2006
1800	2500	2564	6519	130	1800	175	2153
1830	1250	1350	3458	100	1830	178	2184
2130	1250	1350	4546	100	2130	254	2540
2440	1250	1350	6000	100	2440	290	2900

Fig. 3.10 Geometría de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

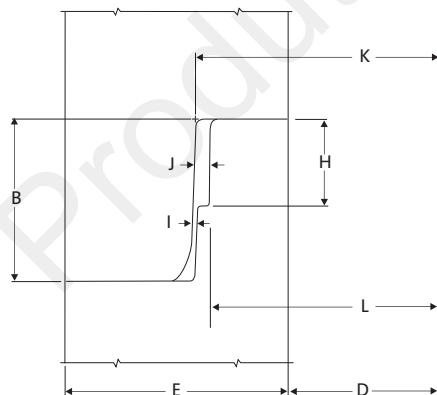


Tabla 3.6 Dimensiones de las juntas de tuberías para diámetros mayores a 1200 mm

Diámetro nominal mm	H mm	I mm	J mm	K mm	L mm	M mm	N mm	Izaje tipo 1	Izaje tipo 2	Empaque
1350	63.5	3.7	11.3	1470	1459	1273	625	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1370	63.5	3.7	11.3	1488	1477	1049	375	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1500	63.5	3.7	11.3	1630	1619	1276	625	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	625	-	Agujero	KXG 2.5x75	Tec Seal 185
1520	63.5	3.7	11.3	1653	1642	1049	375	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1680	63.5	3.7	11.3	1819	1807	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
1800	63.5	3.7	11.3	1950	1939	1277	625	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 185
1830	63.5	3.7	11.3	1978	1967	625	-	Agujero	KXG 2.5x90	Tec Seal 185
2130	70	3.7	12.7	1982	1969	625	-	Agujero	KXG 2.5x100	Tec Seal 200
2440	70	3.7	12.7	2306	2293	625	-	Agujero	KXG 2.5x120	Tec Seal 200

Las tuberías bajo la norma ASTM C14 se fabrican normalmente como clase I y bajo pedido las clase II y la clase III. Esta última hasta 700 mm normalmente. Para otros diámetros o clases favor consultar al Departamento de Ingeniería.

Las tuberías bajo la norma ASTM C 76 se fabrican normalmente en clase II o III bajo pedido en la clase IV hasta 1800 mm y en clase V hasta 1200 mm. Para otros diámetros o clases favor consultar al Departamento de Ingeniería.

Uniones para tuberías de concreto

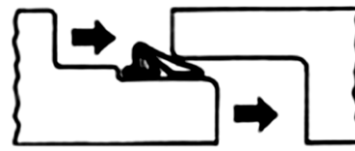
Para las uniones de tuberías de concreto hay una gran variedad de uniones dependiendo de si la conexión es de espiga y campana para tubos de diámetros pequeños o machihembrada para tuberías de diámetros grandes. Las uniones más comunes son: resinas, morteros, neoprenos y anillos metálicos. Su uso dependerá de la aplicación y condiciones de carga a la que esté expuesta la tubería.

Las principales funciones de las uniones en tuberías son:

- Proveer hermeticidad ante a la infiltración del relleno y el agua.
- Impedir la exfiltración del fluido que transporta la tubería.
- Acomodar deflexiones laterales o movimientos longitudinales.
- Proveer una superficie continua y uniforme para el flujo de los fluidos.
- Permitir una fácil instalación de la tubería.
- Soportar una presión de trabajo mínima de 9 mca según ASTM C 443.
- La cantidad de uniones que utiliza las tuberías de concreto normalmente vistas como una desventaja desde el punto de vista de las tuberías metálicas o plásticas, es en realidad una ventaja para muchos tipos de instalaciones, ya que un mayor número de uniones permite mantener el alineamiento y la pendiente más fácilmente; así como acomodar los esfuerzos y deflexiones producidas por la superficie de apoyo, las cargas externas y los sismos.

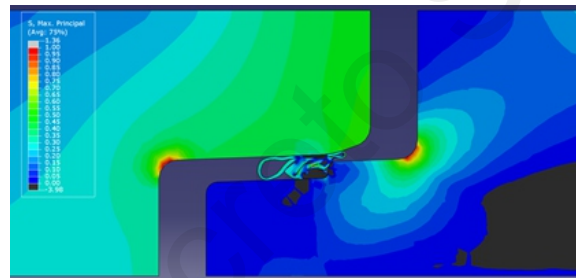
Una de las uniones más utilizadas actualmente para las condiciones de alcantarillado es la de neopreno SBR con lubricación, el cual facilita la operación de instalación. Este tipo de junta se muestra en la Fig. 3.11 y cumple con la norma ASTM C 443/AASHTO M198, ASTM C1628, ASTM C1619.

Fig. 3.11 Empaque de neopreno con lubricación



Este tipo de junta es utilizado internacionalmente y a nivel nacional se ha desarrollado mediante la colaboración de la empresa Terramix y del ingeniero Guido Quesada en la parte de análisis estructural tanto de la tubería como del empaque.

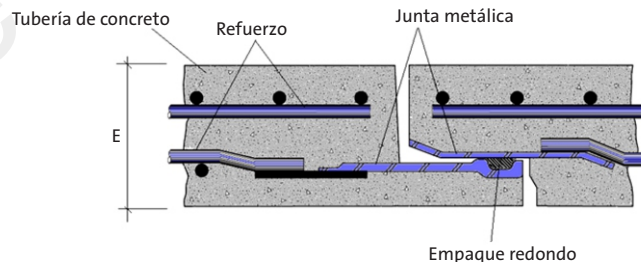
Fig. 3.12 Análisis estructural de la junta con empaque autolubricado



Fuente: Ing. Guido Quesada y Terramix

Para tuberías trabajando con presión se tiene especialmente el uso de juntas confinadas con empaque redondos. Para tuberías donde es indispensable garantizar la impermeabilidad se utilizan juntas metálicas con o sin registro de presión, tal y como se muestra en la Fig. 3.13.

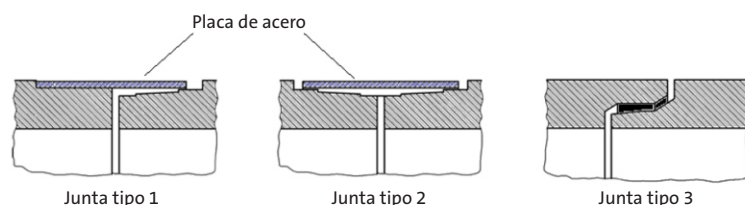
Fig. 3.13 Junta metálica para presión



En las tuberías hincadas la junta dependerá de los requerimientos del cliente y la máquina de hincado, pudiendo ser de tres formas diferentes, como se muestra en la Fig. 3.14:

- La junta 1 donde hay un anillo de acero fijo en un extremo de la tubería.
- La junta 2 donde el anillo de acero es móvil.
- La junta 3 donde se usa una conexión tipo machihembrada para conectar la tubería.

Fig. 3.14 Tipos de juntas para tubería hincada



3.4 Pruebas

Las pruebas que se le realizan a las tuberías se pueden dividir en:

- Materias primas y concreto
- Tubos individuales
- Sistema de tubería

a) Materias primas y concreto

A las materias primas principales del concreto (cemento y agregados) se le realizan pruebas periódicas para garantizar que cumplen las siguientes normas:

- INTE 06-01-02-08 (ASTM C 33): Cubre los agregados finos y gruesos para concreto.
- ASTM C 29: Peso unitario
- ASTM C 117: Porcentaje de finos pasando.
- ASTM C 127 y 128: Peso específico y absorción.
- ASTM C 136: Análisis granulométrico de agregados
- ASTM C 150 Especificación para cemento Portland
- NRC 40-1990 Especificación para cementos hidráulicos
- RTCR 383:2004 Cementos hidráulicos especificaciones
- ASTM C 566: Humedad total

Tanto los agregados como el cemento son provenientes de nuestras propias fuentes, lo cual es un factor adicional de calidad.

Son dosificados por peso en planta y con un estricto control de humedad, para garantizar una mezcla de concreto acorde con las exigencias del producto.

Concreto

Con una frecuencia diaria se obtienen testigos, según ASTM C 31 y C 39 de la resistencia del concreto utilizada para la fabricación de los tubos PC, y se prueban en nuestros propios laboratorios para garantizar que la misma sea adecuada para el manipuleo de los tubos, previo al período correspondiente de cura húmeda en patio.

Aceros

El acero utilizado para los tubos PC reforzados es de importación y cumplen totalmente con las normas ASTM A 615 y A 706, para lo cual se solicitan los certificados respectivos al proveedor y se evalúan periódicamente sus propiedades en el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la UCR (LANAMME), mediante la prueba ASTM A-370.

b) Pruebas sobre tubos individuales

Una vez fabricados los tubos se realizan sobre muestras de cada lote de producción pruebas de calidad para asegurar que cumplan con la norma ASTM C 497, la cual cubre:

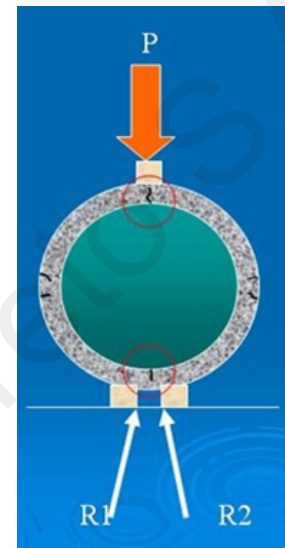
Prueba de tres aristas

Esta prueba se realiza cargando la tubería en forma diametral (Fig. 3.9) y registrando la carga, en la cual se produce una grieta longitudinal de 0.3

mm de ancho, 1.5 mm de espesor en una distancia de 30 mm. La carga se expresa en Newtons por m de longitud por milímetro de diámetro.

Posterior a alcanzada esta carga, opcionalmente se puede llevar la tubería hasta la carga última en la cual se forman cuatro articulaciones en la tubería formando un mecanismo de falla.

Fig. 3.15 Prueba de tres aristas según ASTM C 497



Absorción

Esta prueba se realiza sobre un segmento de la tubería para determinar cuánta agua absorbe el elemento y es una medida indirecta de la densidad y resistencia de la tubería.

Permeabilidad

La prueba de permeabilidad mide si hay un flujo de agua a través de la tubería al estar esta llena de agua y sin presión por un periodo mínimo de 15 minutos y máximo de 24 horas. Es una medida indirecta de la porosidad o compactación del concreto.

Alcalinidad del concreto

Esta prueba mide la capacidad del concreto para neutralizar ácidos presentes en las aguas residuales. Además es uno de los criterios utilizados para determinar la vida útil de la tubería en presencia de sulfuro de hidrógeno.

c) Pruebas sobre el sistema de tuberías

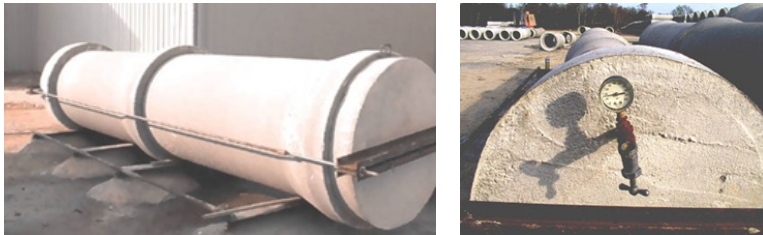
Estas pruebas abarcan a las tuberías trabajando en conjunto e intervienen no solo las tuberías sino también el empaque.

Las normas que se tienen que verificar son: ASTM C 443, ASTM C 497, ASTM C 1619, ASTM C 1628.

Prueba hidrostática

En esta prueba se somete un tubo o dos, si se desea probar también el empaque y hermeticidad de la junta, a una presión de 90 Kpa (9 mca) por 10 minutos para las tuberías tipo C14 y C76 (Fig. 3.16). Si bien las tuberías trabajan a gravedad se analiza el caso en que se obstruyen y trabajan a presión.

Fig. 3.16 Ensamble y medición de la prueba hidrostática

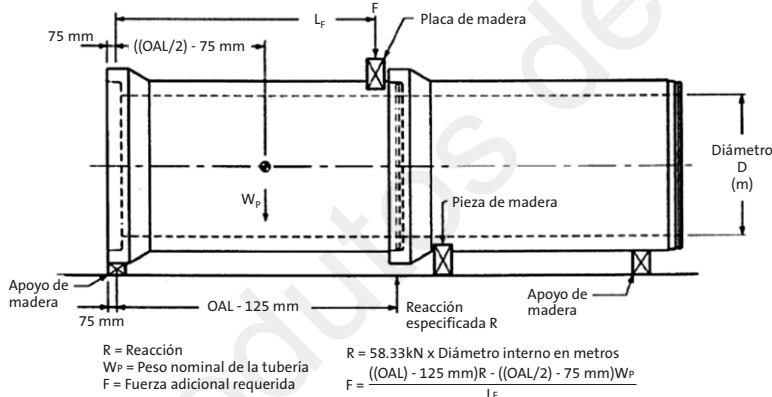


En el caso de las tuberías cubiertas por la norma ASTM C 361 las tuberías y juntas deben probarse a un 120% de la presión especificada por 20 minutos.

Prueba de cortante de la junta

De acuerdo con la norma ASTM C 443 las juntas de las tuberías deben someterse a una prueba de cortante para asegurar la capacidad estructural de la junta ante cargas diferenciales (Fig. 3.17).

Fig. 3.17 Prueba de cortante de la junta



Todas estas pruebas son verificadas por el LANAME periódicamente o a solicitud del cliente.

3.5 Normas y estándares aplicables a las tuberías de concreto

En Costa Rica las normas vigentes a la fecha para las tuberías de concreto son las normas INTECO, específicamente:

- INTE 16-11-01-08, "Tuberías de concreto reforzado para alcantarillado".
- INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14) "Tubos de concreto sin refuerzo para alcantarillado".

- INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76) "Tubos de concreto reforzado para alcantarillado".
- INTE 16-11-03-08 (ASTM C 443) "Especificaciones para juntas flexibles para la unión de tubos circulares de concreto, usando empaques de hule".
- INTE 16-11-10-08 (ASTM C 497), "Métodos de ensayo para tubos y secciones de pozos de inspección prefabricados en concreto".
- INTE 16-11-11-08 (ASTM C 655), "Tubos de concreto reforzado para alcantarillado sometido a carga muerta específica".
- INTE 16-11-12-08 (ASTM C 822), "Definiciones estándar de términos relacionados con tubería de concreto y productos afines".
- INTE 16-11-17-08 (ASTM C 1628) "Especificación para juntas de tuberías de concreto por gravedad usando empaques de hule".
- INTE 16-11-08-10 (ASTM C 1417), Tubos de concreto reforzado para alcantarillado fabricados según el método de diseño directo.
- PN INTE 16-11-24-10 (ASTM C 923), Norma para conectores elásticos entre estructuras de pozos de inspección de concreto reforzado, tubos y laterales".
- PN INTE 16-11-23-10 (ASTM C 478), Norma para pozos de concreto reforzados prefabricados.
- PN INTE 16-11-21-10 (ASTM C 1577), Norma para secciones de caja monolíticas prefabricadas en concreto reforzado para alcantarillas, aguas pluviales y aguas residuales diseñadas conforme a AASHTO LRFD.
- PN INTE 16-11-29-10 (BS EN 1916), Tubo reforzado de concreto para hincar.
- RTCR 383:2004, Cementos hidráulicos especificaciones.

Normas internacionales relacionadas

- ASTM A 82, "Specification for Steel Wire, Plain, for Concrete Reinforcement".
- ASTM A 185, "Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Plain, for Concrete".
- ASTM A 496, Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement.
- ASTM A 497, Specification for Steel Welded Wire Reinforcement, Deformed, for Concrete".
- ASTM A 615/A 615M, Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM A 706 Standard Specification for Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete Reinforcement.
- ASTM C 14 Standard Specification for Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe.
- ASTM C 31 Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- ASTM C 39 Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

- ASTM C 42 Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- ASTM C 76 Standard Specification for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 150 Specification for Portland Cement.
- ASTM C 260, "Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete".
- ASTM C 309, "Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete".
- ASTM C 361 Standard Specification for Reinforced Concrete Low-Head Pressure Pipe.
- ASTM C 443/AASHTO M 198 Standard Specification for Joints for Circular Concrete Sewer and Culvert Pipe, Using Rubber Gaskets.
- ASTM C 444 Standard Specification for Perforated Concrete Pipe.
- ASTM C 478/AASHTO M 199 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Manhole Sections.
- ASTM C 494/C 494M "Specification for Chemical Admixtures for Concrete".
- ASTM A 496 "Specification for Steel Wire, Deformed, for Concrete Reinforcement".
- ASTM C 497 Standard Test Methods for Concrete Pipe, Manhole Sections, or Tile.
- ASTM C 506/ AASHTO M 206 Standard Specification for Reinforced Concrete Arch Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 507/ AASHTO M 207 Standard Specification for Reinforced Concrete Elliptical Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 595 "Specification for Blended Hydraulic Cements".
- ASTM A 615/A 615M "Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement".
- ASTM C 618 "Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete".
- ASTM C 655 Standard Specification for Reinforced Concrete D-Load Culvert, Storm Drain, and Sewer Pipe.
- ASTM C 789/ AASHTO M 259 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C 822 Standard Definitions of Terms Relating to Concrete Pipe and Related Products.
- ASTM C 850/ AASHTO M 273 Precast Reinforced Concrete Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers with less than 2 ft. of Cover Subject to Highway Loading.
- ASTM C 877 External Sealing Bands for Non-Circular Concrete Sewer, Storm Drain and Culvert Pipe.
- ASTM C 890 Standard Practice for Minimum Structural Design Loading for Monolithic or Sectional Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C 913 Standard Specification for Precast Concrete Water and Wastewater Structures.
- ASTM C 923 Resilient Connectors Between Reinforced Concrete Manhole Structures and Pipes.
- ASTM C 924 Low-Pressure Air Test of Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 969 Infiltration and Exfiltration Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 985 Non-Reinforced Concrete Specified Strength Culvert, Storm Drain and Sewer Pipe Lines.
- ASTM C 989 "Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars".
- ASTM C 990 Standard Specification for Joints for Concrete Pipe, Manholes, and Precast Box Sections Using Preformed Flexible Joint Sealants.
- ASTM C 1017/C1017M, "Specification for Chemical Admixtures for use in Producing Flowing Concrete".
- ASTM C 1103 Standard Practice for Joint Acceptance Testing of Installed Precast Concrete Pipe Sewer Lines.
- ASTM C 1116 Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete".
- ASTM C 1131 Standard Practice for Least Cost (Life Cycle) Analysis of Concrete Culvert, Storm Sewer, and Sanitary Sewer Systems.
- ASTM C 1214 Standard Test Method for Concrete Pipe Sewer lines by Negative Air Pressure (Vacuum) Test Method.
- ASTM C 1244 Standard Test Method for Concrete Sewer Manholes by the Negative Air Pressure (Vacuum) Test Prior to Backfill.
- ASTM C 1417 Standard Specification for Manufacture of Reinforced Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe for Direct Design.
- ASTM C 1433/ AASHTO M 259/ AASHTO M 273 Standard Specification for Precast Reinforced Concrete Monolithic Box Sections for Culverts, Storm Drains, and Sewers.
- ASTM C 1479 Standard Practice for Installation of Precast Concrete Sewer, Storm Drain, and Culvert Pipe Using Standard Installations.
- ASTM C 1619 Standard Specification for Elastomeric Seals for Joining Concrete Structures.
- ASTM C 1628 Standard Specification for Joints for Concrete Gravity Flow Sewer Pipe, Using Rubber Gaskets.
- AWWA 302 Reinforced Concrete Pressure Pipe, Non-Cylinder Type for Water and Other Liquids.
- ASCE 15 Standard Practice for Direct Design of Buried Precast Concrete Pipe Using Standard Installations (SIDD).
- ASCE 27 Standard Practice for Direct Design of Precast Concrete Pipe for Jacking in trenchless Construction.
- EN 1916 Concrete pipes and fittings, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- EN 1917 Concrete manholes and inspection chambers, unreinforced, steel fiber and reinforced.
- BS 5911-1 Concrete pipes and ancillary concrete products.
Part 1: Specification for unreinforced and reinforced concrete pipes (including jacking pipes) and fittings with flexible joints (complementary to BS EN 1916:2002).
- BS EN 124 Gully tops and manhole tops for vehicular and pedestrian areas. Design requirements, type testing, marking, quality control.

3.6 Aspectos de diseño

a) Diseño estructural

La teoría clásica para determinar las cargas de suelo sobre tuberías de concreto publicada en 1930 fue desarrollada por A. Marston para tuberías colocadas en zanjas angostas "trench" en suelo natural y tuberías en terraplén "embankment" o sobre el nivel de terreno natural y se cubren seguidamente.

Posteriormente M.G. Spangler en 1933 presenta tres configuraciones de apoyo de las tuberías o cama y el concepto de factor de apoyo "bedding factor" que relaciona la resistencia de la tubería enterrada con la resistencia obtenida en la prueba de tres aristas.

Esta resistencia es dependiente de dos factores:

- Del ancho y la calidad de la superficie de apoyo con la tubería.
- La magnitud de la presión lateral y de la altura de la tubería sobre la cual ésta actúa.

Aún cuando el trabajo de Marston y Spangler es conservador y da buenos resultados, los conceptos de diseño tienen sus limitaciones.

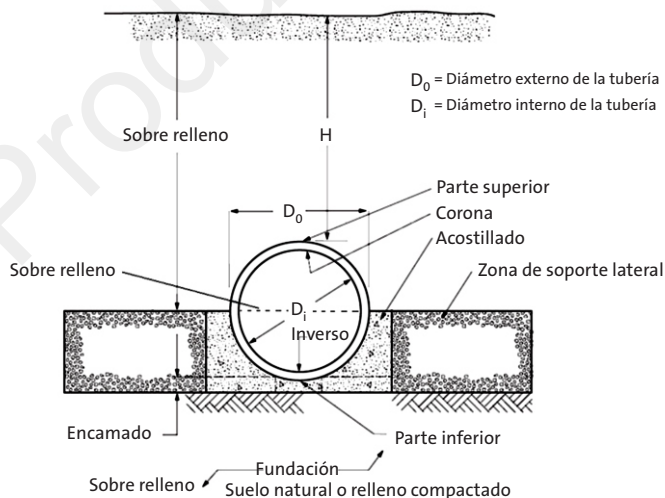
En 1970, La Asociación Americana de Tuberías de Concreto (ACPA) realizó un extenso programa de investigación sobre la interacción entre el suelo y las tuberías de concreto. Esta investigación culminó con el desarrollo del programa de Análisis y Diseño de la Interacción entre las Tuberías y el Suelo SPIDA, para el diseño directo de tuberías de concreto enterradas. Este posteriormente llevó al desarrollo de cuatro tipos de Instalaciones Estándar y un programa simplificado de diseño denominado Diseño Directo con Instalaciones Estándares SIDD (ASCE 15).

Este desarrollo reemplaza las históricas condiciones de apoyo o camas tipo A,B,C,D usadas en el método indirecto de diseño y trae grandes ventajas al permitir escoger entre diferentes niveles de compactación y suelos, lo cual permite analizar la opción mas económica para cada sitio de proyecto y el acarreo o no de material selecto.

Terminología y condiciones de instalación

En la Fig. 3.19 se muestra la terminología general y elementos que conforman la estructura de soporte en la instalación de tuberías de concreto.

Fig. 3.18 Terminología de la instalación de la tubería de concreto

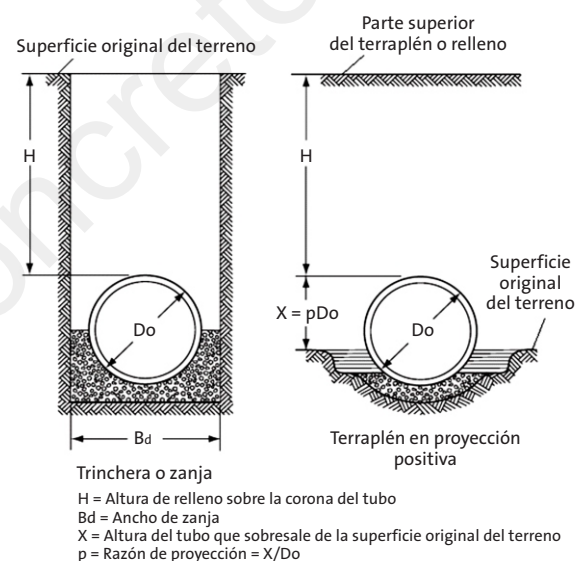


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Dependiendo de la altura del relleno y/o la forma de la zanja en que se coloca la tubería se pueden tener cuatro condiciones de instalación, las cuales determinan en gran forma la carga muerta que soportará la tubería (Fig. 3.19).

Estas condiciones son de la más crítica a la menos crítica: instalación en terraplén o relleno en proyección positiva, instalación en terraplén o relleno en proyección negativa, instalación en trinchera e instalación hincada.

Fig. 3.19 Condiciones típicas de instalación



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Tipos de instalación estándar

Los tipos de instalación estándar se clasifican en cuatro, según el tipo material y compactación del mismo, lo que define el grado de rigidez de la cama de apoyo y confinamiento lateral de la tubería.

Los suelos se clasifican en cuatro categorías que relacionan el tipo de suelo y el nivel de compactación según la codificación del sistema unificado de clasificación de suelos UCSS, AASHTO. Tablas 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7 Sistema unificado de clasificación de suelos		
Simbología		
Primera/ segunda letra		
G	Grava	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas retenidas en la malla # 4 (4.75 mm)
S	Arena	Más del 50% de la fracción gruesa de las partículas pasando la malla # 4 (4.75 mm)
M	Limo	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
C	Arcilla	Más del 12% de las partículas pasa la malla 200. La clasificación depende de las características de plasticidad del material pasando la malla 40 (0.425 mm)
O	Orgánico	Suelos compresibles con alto contenido de materia orgánica
Segunda Letra		
P		Pobrementemente graduado (Tamaño uniforme de partículas)
W		Bien graduado (Distintos tamaños de partículas)
H		Alta plasticidad, límite líquido mayor de 50
L		Baja plasticidad, límite líquido menor o igual a 50
División de tamaño		
Grueso		Más del 50% de las partículas retenidas en la malla 200 (0.075 mm)
Fino		Más del 50% de las partículas pasando la malla 200 (0.075 mm)

Tabla 3.8 Clasificaciones equivalentes USCS y AASHTO para designación de suelos				
Categoría	Tipo representativo de suelo			
	USCS (ASTM D 2487)	AASHTO (M 145)	Descripción	
Categoría 1 Arena Gravosa	Suelos granulares gruesos y limpios: SW, SP, GW, GP o cualquier tipo de suelo con alguno de las categorías anteriores con 12% o menos pasando la malla 200 (0.075 mm) (GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM)	A-1, A-3	GW	Grava limpia bien graduada, de fina a gruesa con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GP	Grava pobremente graduada, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SW	Arena limpia bien graduada de fina a gruesa, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SP	Arena pobremente graduada, con menos del 5% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 2 Arena Limosa	Suelos granulares gruesos con finos: GM, GC, SM, SC o cualquier suelo que comience con alguna de estas categorías y que contengan más del 12% pasando la malla	A2, A4	GM	Grava limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			GC	Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SM	Arena limosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC	Arena arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML	Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CL	Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 3 Arcilla Limosa	Suelo granular finos: GC, SC, CL, ML, o (CL-ML, CL/ML, ML/CL) con menos de 30% retenido en la malla 200 (0.075 mm)	A5, A6	GC	Grava arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			SC	Arena arcillosa con más de 12% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			ML	Limo de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CL	Arcilla de baja plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
Categoría 4, Pero no se permite en el acostillamiento o encamado.	MH, CH, OL, OH, PT	A7	MH	Limo de alta plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			CH	Arcilla de alta plasticidad con más de 50% pasando la malla 200 (0.075 mm)
			OL	Suelo orgánico de baja plasticidad
			OH	Suelo orgánico de alta plasticidad
			PT	Suelo altamente orgánico

Los tipos de instalación se muestran en la Tabla 3.9 y están correlacionados a los factores de arco o de carga que determinó el estudio de ACPA (Fig. 3.21) utilizando una distribución de presiones tipo Heger.

Una instalación tipo 1 es la que requiere mayor calidad de materiales, mayor esfuerzo constructivo y grado de inspección. Mientras tanto, la instalación tipo 4 requiere poco esfuerzo constructivo o de inspección.

La decisión de cuál instalación es de tipo económica influenciada por los materiales, mano de obra y equipos con que se cuente el proyecto, así como el tipo de tubería que se desee utilizar, ya que a menor calidad de instalación se requiere una tubería de mayor resistencia.

Tabla 3.9 Instalaciones estándar y requerimientos mínimos de compactación

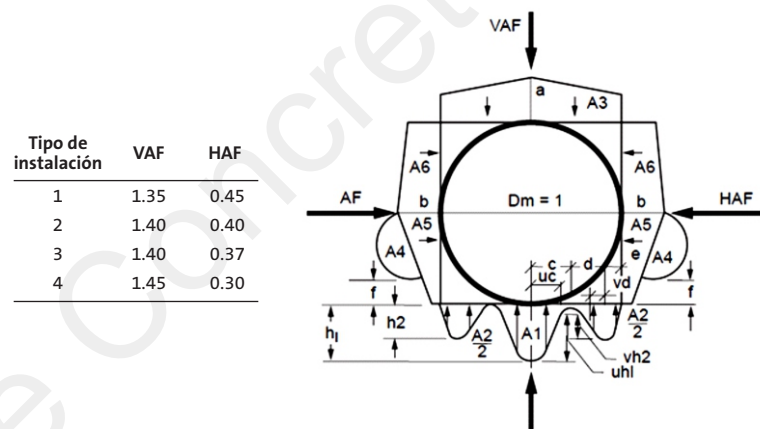
Tipo de instalación	Espesor del encamado	Zona de acostillamiento y parte externa de la cama	Zona de soporte lateral
Tipo 1	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% de Proctor Estándar	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar Suelo categoría III al 100% Proctor Estándar
Tipo 2	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 90% Proctor Estándar Suelo categoría II al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 3	Espesor mínimo $D_o/24$, pero no menos de 75 mm. Si la fundación es roca, use un mínimo de $D_o/12$, pero no menos de 150 mm	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar	Suelo categoría I al 85% Proctor Estándar Suelo categoría II al 90% Proctor Estándar Suelo categoría III al 95% Proctor Estándar
Tipo 4	No requiere cama a menos que sea fundación en roca. Espesor $D_o/12$ pero no menos de 150 mm	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar	No requiere compactación para los suelos categoría I y II. Suelo categoría II al 85% Proctor Estándar

Cargas

Los tipos de carga que actúan en una tubería son el peso propio, el peso del agua en la tubería, las cargas vivas durante el proceso constructivo o en operación durante la vida útil de la estructura.

Como carga muerta se tiene el peso del suelo sobre la tubería, el cual se multiplica por un factor de arco vertical. Tanto el peso como el factor de arco dependen de la geometría y tipo de instalación a emplear. Una vez obtenida la carga muerta esta se divide por un factor de encamado el cual a su vez depende del diámetro de la tubería y/o tipo de instalación.

Fig. 3.20 Condiciones típicas de instalación



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

El factor de encamado es un factor que se obtiene dividiendo la resistencia obtenida en el laboratorio en una prueba de tres aristas y la obtenida experimentalmente en campo.

La carga viva es producto de los vehículos o camiones, trenes o aviones que transitan sobre o cerca de la tubería y de la maquinaria de instalación durante el proceso constructivo. Esta última condición puede ser más severa que la condición de servicio.

Para condiciones normales de tráfico vehicular donde la condición constructiva no rige el diseño o se requieran cargas especiales como la de aviones o trenes, la carga viva es despreciable a partir de los tres metros de profundidad y la configuración y tipo de carga que rige entre los cero y tres metros de profundidad se muestra en la Tabla 3.10.

Al igual que la carga muerta la carga viva se divide por un factor de encamado.

La carga final es la suma de las cargas por metro lineal producto de la carga muerta, el agua y la carga viva que se dividen por un factor de seguridad el cual depende del tipo de tubería y su el diámetro (Tabla 3.11). Si se utiliza un factor de seguridad de 1 se obtiene la carga de grieta por metro lineal. En caso contrario se obtiene la capacidad última por metro lineal que se requiere en tuberías con refuerzo.

Tabla 3.10 Carga viva que rige el diseño

Relleno sobre tubería Categoría I	
Altura de relleno H	Carga aplicada P
m	kg
$H < 0.6$	7,273
$0.6 \leq H < 0.84$	14,545
$H \geq 0.84$	22,727
Relleno sobre tubería categoría II y III	
$H < 0.71$	7,273
$0.71 \leq H < 0.97$	14,545
$H \geq 0.97$	22,727

Tabla 3.11 Factor de seguridad según tipo de tubería

Clase de tubería	Carga de grieta	FS
	N/m/mm	
ASTM C14	Todos	1.5
ASTM C76	≤ 100	1.25
ASTM C76	> 150	1.5

Nota: Se puede interpolar linealmente para cargas de grieta

Si la carga por metro lineal expresada en Newtons por metro lineal se divide por el diámetro interno de la tubería expresado en mm se obtienen la demanda que se compara con las capacidades dadas en las Tablas 3.1 y 3.2 para las tuberías ASTM C14 y ASTM C76, respectivamente.

Para mayor información sobre cómo determinar las cargas de diseño dependiendo del tipo de carga, configuración y tipo de instalación utilizando el método indirecto se puede consultar “Concrete Pipe Design Manual” de la Asociación Americana de Tuberías de Concreto (ACPA).

Si se desea o es necesario un análisis más detallado se puede utilizar la metodología de diseño directo de ASCE 15 de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles o el AASHTO LRFD “Bridge Design Specification” de la Asociación Americana de Oficinas de Transporte y Autopistas Estatales.

Tablas para cálculo de demandas y selección de tuberías

Una vez determinada la carga en N/m/mm se puede seleccionar la tubería que más se adapte a las necesidades de instalación utilizando las siguientes tablas.

En su cabecera se da información general de las tuberías utilizadas, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis.

Tablas para cálculo de demandas y selección de tuberías

Una vez determinada la carga en N/m/mm se puede seleccionar la tubería que más se adapte a las necesidades de instalación utilizando las siguientes tablas.

Al pie de cada tabla se da información general de la clase de la tubería utilizada, el tipo de instalación, las cargas y cualquier otro supuesto de análisis. La tabla expresa en su lado izquierdo el diámetro de tubería considerado. En su parte superior la clase de la tubería, y en la parte interna se da la profundidad mínima y máxima para cada clase según el tipo de instalación seleccionado.



La tabla expresa en su lado izquierdo el diámetro de tubería considerado. En su parte superior la profundidad de instalación medida a altura de corona, y en la parte interna se da la demanda para las condiciones analizadas en N/m/mm.

Por medio de colores y aplicando los factores de seguridad de la Tabla 3.11 se muestra cuál sería el tipo de tubería a utilizar, según corresponda bajo la norma ASTM C76 o ASTM C14.

Tabla 3.12 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 sin carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	10,05	0,30	4,25	0,30	11,55
375	0,30	9,45	0,30	3,95	0,30	10,35
450	0,30	9,10	0,30	3,65	0,30	9,75
525	0,30	8,50	0,30	3,65	0,30	9,75
600	0,30	7,90	0,30	3,35	0,30	9,75
675	0,30	7,90	0,30	3,35	0,30	9,10
750	0,30	7,60	0,30	3,05	0,30	7,90
825	0,30	7,00	0,30	2,70	0,30	7,60
900	0,30	6,40	0,30	2,40	0,30	7,00

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	5,45	0,30	7,00	0,30	7,90
375	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	7,30
450	0,30	4,25	0,30	6,00	0,30	6,70
525	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
600	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
675	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	6,10
750	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	5,75
825	0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	5,15
900	0,30	3,00	0,30	4,55	0,30	4,85

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	5,45	0,30	7,00	0,30	7,90
375	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	7,30
450	0,30	4,25	0,30	6,00	0,30	6,70
525	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
600	0,30	3,95	0,30	5,45	0,30	6,70
675	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	6,10
750	0,30	3,65	0,30	5,15	0,30	5,75
825	0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	5,15
900	0,30	3,00	0,30	4,55	0,30	4,85

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	3,95
375	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	3,65
450	0,30	2,10	0,30	3,00	0,30	3,35
525	0,30	2,10	0,30	3,00	0,30	3,35
600	0,30	2,10	0,30	2,70	0,30	3,35
675	0,30	1,80	0,30	2,70	0,30	3,35
750	0,30	1,80	0,30	2,70	0,30	3,35
825	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	2,70
900	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	2,70

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Diseño especial

Tabla 3.13 Profundidades de instalación para tuberías clase C14 con carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	5,45	0,60	7,30	0,60	8,50
375	0,60	4,85	0,60	6,70	0,60	7,60
450	0,60	4,25	0,60	6,70	0,60	7,30
525	0,60	3,95	0,60	6,10	0,30	7,30
600	0,90	3,65	0,60	5,75	0,30	7,30
675	0,90	3,65	0,30	5,75	0,30	6,70
750	0,90	3,35	0,30	5,45	0,30	6,40
825	0,90	3,05	0,30	4,85	0,30	5,45
900	0,60	3,05	0,30	4,55	0,30	5,15

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	4,25	0,60	5,45	0,30	6,40
375	0,60	3,65	0,60	5,15	0,60	5,75
450	0,60	3,35	0,60	4,85	0,30	5,45
525	0,60	3,05	0,30	4,55	0,30	5,45
600	0,90	2,70	0,30	4,25	0,30	5,45
675	0,90	2,70	0,30	4,25	0,30	4,85
750	0,90	2,40	0,30	4,25	0,30	4,55
825	0,60	2,10	0,30	3,65	0,30	4,25
900	0,60	2,10	0,30	3,35	0,30	3,95

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	0,60	3,05	0,60	4,25	0,30	4,85
375	0,60	2,70	0,60	3,95	0,60	4,55
450	0,90	2,40	0,60	3,65	0,30	4,25
525	0,90	2,10	0,30	3,65	0,30	4,25
600	0,90	2,10	0,30	3,35	0,30	4,25
675	0,90	1,80	0,30	3,35	0,30	3,65
750	0,90	1,50	0,30	3,05	0,30	3,65
825	0,90	1,50	0,30	2,70	0,30	3,05
900			0,30	2,40	0,30	2,70

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300	1,20	1,50	0,60	2,40	0,60	3,05
375			0,60	2,40	0,60	2,70
450			0,60	2,10	0,60	2,40
525			0,90	2,10	0,60	2,70
600			0,90	1,80	0,30	2,70
675			0,90	1,80	0,30	2,40
750			0,90	1,80	0,30	2,10
825			0,90	1,50	0,30	2,10
900			0,90	1,20	0,30	1,50

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
2. Carga viva AASHTO HL-93 (AASHTO LRFD 2007)
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-04-08 (ASTM C 14 / AASHTO M86)

Diseño especial

Tabla 3.14 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 sin carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
375			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
450			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
525			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
600			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	14,00	0,30	18,25
675			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
750			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
825			0,30	6,70	0,30	8,80	0,30	13,70	0,30	18,25
900			0,30	6,70	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1050			0,30	6,70	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1200			0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1350			0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,40	0,30	18,25
1500	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,50	0,30	13,10	0,30	18,25
1650	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	13,10	0,30	18,25
1800	0,30	5,15	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	13,10	0,30	18,25
1950	0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	8,20	0,30	12,80		
2100	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20	0,30	12,80		
2250	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20				
2400	0,30	4,85	0,30	6,10	0,30	8,20				

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m²
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase IV norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase V norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Diseño especial

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,40
375			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,70
450			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,70
525			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,75	0,30	13,40
600			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
675			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
750			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
825			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,40
900			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1050			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1200			0,30	4,55	0,30	6,05	0,30	9,45	0,30	13,10
1350			0,30	4,55	0,30	5,75	0,30	9,45	0,30	13,10
1500	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	13,10
1650	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	13,10
1800	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10	0,30	12,80
1950	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10		
2100	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,10		
2250	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75				
2400	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	5,75				

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,30	0,30	9,10
375			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
450			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
525			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
600			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
675			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
750			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,60	0,30	9,10
825			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,30	0,30	9,10
900			0,30	3,65	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1050			0,30	3,65	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1200			0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1350			0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1500	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,30	0,30	9,10
1650	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00	0,30	9,10
1800	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00	0,30	9,10
1950	0,30	2,70	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00		
2100	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,00		
2250	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55				
2400	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55				

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	6,70
375			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	7,00
450			0,30	2,40	0,30	3,00	0,30	4,85	0,30	7,00
525			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
600			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
675			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
750			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
825			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
900			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1050			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1200			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1350			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1500	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1650	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1800	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15	0,30	7,30
1950	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15		
2100	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,15		
2250	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,35				
2400	0,30	1,80	0,30	2,40	0,30	3,00				

Tabla 3.15 Profundidades de instalación para tuberías clase C76 con carga viva

Instalación tipo I

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	4,55	0,60	6,40	0,30	10,35	0,30	14,30
375			0,60	4,85	0,60	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
450			0,60	4,85	0,60	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
525			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
600			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
675			0,60	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
750			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	15,20
825			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,65	0,30	14,90
900			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1050			0,30	4,85	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1200			0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1350			0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,35	0,30	14,90
1500	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	6,40	0,30	10,05	0,30	14,60
1650	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	6,10	0,30	10,05	0,30	14,60
1800	0,30	3,35	0,30	4,25	0,30	6,10	0,30	10,05	0,30	14,30
1950	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	6,10	0,30	9,75		
2100	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	5,75	0,30	9,75		
2250	0,30	3,05	0,30	4,25	0,30	5,75				
2400	0,30	3,05	0,30	3,95	0,30	5,75				

Instalación tipo II

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	3,35	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
375			0,60	3,65	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
450			0,60	3,65	0,60	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
525			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
600			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
675			0,60	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
750			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
825			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
900			0,30	3,65	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1050			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1200			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1350			0,30	3,35	0,30	4,85	0,30	7,90	0,30	11,55
1500	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,90	0,30	11,25
1650	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,60	0,30	11,25
1800	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	4,55	0,30	7,60	0,30	11,25
1950	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55	0,30	7,60		
2100	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55	0,30	7,60		
2250	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,55				
2400	0,30	2,10	0,30	3,05	0,30	4,25				

Alturas de relleno basadas en:

1. Peso del suelo de 1900 kg/m³
2. Carga viva AASHTO HL-93 (AASHTO LRFD 2007)
3. Instalación en terraplén

D.I. Diámetro interno de la tubería - Prof.: Profundidad

Fuente: American Concrete Pipe Association

Tubería Clase I norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase II norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase III norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase IV norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Tubería Clase V norma INTE 16-11-01-08 (ASTM C 76 / AASHTO M170)

Diseño especial

Instalación tipo III

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300			0,90	2,40	0,60	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
375			0,60	2,70	0,60	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
450			0,60	2,70	0,60	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
525			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
600			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
675			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
750			0,60	2,70	0,30	3,60	0,30	6,40	0,30	8,80
825			0,30	2,70	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
900			0,30	2,70	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1050			0,30	2,40	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1200			0,30	2,40	0,30	3,60	0,30	6,10	0,30	8,80
1350			0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	6,10	0,30	8,80
1500	0,60	1,50	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	6,10	0,30	8,80
1650	0,60	1,50	0,30	2,40	0,30	3,35	0,30	5,75	0,30	8,80
1800	0,60	1,50	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75	0,30	8,50
1950	0,30	1,50	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75		
2100	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,35	0,30	5,75		
2250	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,35				
2400	0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,05				

Instalación tipo IV

D.I. (mm)	Clase I		Clase II		Clase III		Clase IV		Clase V	
	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)	Prof. Min (m)	Prof. Max (m)
300					0,90	1,80	0,30	3,65	0,30	5,45
375					0,90	2,10	0,30	3,95	0,30	5,75
450					0,60	2,10	0,30	3,95	0,30	5,75
525					0,60	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
600			1,20	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
675			1,20	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
750			0,90	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
825			0,90	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
900			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1050			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1200			0,30	1,20	0,30	2,40	0,30	4,25	0,30	6,10
1350			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	4,25	0,30	6,10
1500			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	4,25	0,30	6,10
1650			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
1800			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95	0,30	6,10
1950			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95		
2100			0,30	1,20	0,30	2,10	0,30	3,95		
2250			0,30	0,90	0,30	2,10				
2400	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30	1,80				



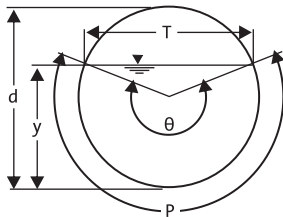
Diseño hidráulico

Para facilitar la selección del tipo y diámetro del tubo que permita el comportamiento hidráulico adecuado de la alcantarilla que se está proyectando instalar, se incluyen cinco tablas. Estas tablas contemplan los tres casos más comunes de usos para tubería de concreto:

- Alcantarillas para caminos y carreteras
- Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje
- Alcantarillado pluvial y sanitario

El cálculo de los parámetros que intervienen en el diseño se obtuvieron a partir de las definiciones y valores dados en la tabla 3.16, la cual presenta información útil para el diseño hidráulico de tuberías y mediante la aplicación de las fórmulas de Manning y de flujo crítico.

Tabla 3.16 Propiedades geométricas de los tubos



$$y = \text{profundidad} = \frac{1}{2}(1 - \cos(1/2\theta))d$$

$$A = \text{área} = \frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)d^2$$

$$P = \text{perímetro mojado} = 1/2\theta d$$

$$R = \text{radio hidráulico} = \frac{1}{4} \frac{1 - \text{sen}\theta}{\theta} d$$

$$T = \text{ancho superficial} = \text{sen}(1/2\theta)d$$

$$D = \text{profundidad media} = \frac{1}{8} \frac{(\theta - \text{sen}\theta)d}{\text{sen}(1/2\theta)}$$

$$d = \text{diámetro interior del tubo}$$

$\frac{y}{d}$	$\frac{A}{d^2}$	$\frac{P}{d}$	$\frac{R}{d}$	$\frac{T}{d}$	$\frac{D}{d}$	$\frac{AD^{1/2}}{d^{5/2}}$	$\frac{AR^{2/3}}{d^{8/3}}$	θ
0.02	0.0037	0.2838	0.0132	0.2800	0.0134	0.0004	0.0002	0.5676
0.04	0.0105	0.4027	0.0262	0.3919	0.0269	0.0017	0.0009	0.8054
0.06	0.0192	0.4949	0.0389	0.4750	0.0405	0.0039	0.0022	0.9899
0.08	0.0294	0.5735	0.0513	0.5426	0.0542	0.0069	0.0041	1.1470
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.6000	0.0681	0.0107	0.0065	1.2870
0.12	0.0534	0.7075	0.0755	0.6499	0.0821	0.0153	0.0095	1.4150
0.14	0.0668	0.7670	0.0871	0.6940	0.0963	0.0207	0.0131	1.5340
0.16	0.0811	0.8230	0.0986	0.7332	0.1106	0.0270	0.0173	1.6461
0.18	0.0961	0.8763	0.1097	0.7684	0.1251	0.0340	0.0220	1.7526
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.8000	0.1398	0.0418	0.0273	1.8546
0.22	0.1281	0.9764	0.1312	0.8285	0.1546	0.0504	0.0331	1.9528
0.24	0.1449	1.0239	0.1416	0.8542	0.1697	0.0597	0.0394	2.0479
0.26	0.1623	1.0701	0.1516	0.8773	0.1850	0.0698	0.0461	2.1403
0.28	0.1800	1.1152	0.1614	0.8980	0.2005	0.0806	0.0534	2.2304
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.9165	0.2162	0.0921	0.0610	2.3186
0.32	0.2167	1.2025	0.1802	0.9330	0.2322	0.1044	0.0691	2.4051
0.34	0.2355	1.2451	0.1891	0.9474	0.2485	0.1174	0.0776	2.4901
0.36	0.2546	1.2870	0.1978	0.9600	0.2652	0.1311	0.0864	2.5740
0.38	0.2739	1.3284	0.2062	0.9708	0.2821	0.1455	0.0956	2.6569
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.9798	0.2994	0.1605	0.1050	2.7389
0.42	0.3130	1.4101	0.2220	0.9871	0.3171	0.1763	0.1148	2.8202
0.44	0.3328	1.4505	0.2295	0.9928	0.3353	0.1927	0.1248	2.9010
0.46	0.3527	1.4907	0.2366	0.9968	0.3539	0.2098	0.1349	2.9814
0.48	0.3727	1.5308	0.2435	0.9992	0.3730	0.2276	0.1453	3.0616
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	1.0000	0.3927	0.2461	0.1558	3.1416
0.52	0.4127	1.6108	0.2562	0.9992	0.4130	0.2652	0.1665	3.2216
0.54	0.4327	1.6509	0.2621	0.9968	0.4340	0.2850	0.1772	3.3018
0.56	0.4526	1.6911	0.2676	0.9928	0.4558	0.3055	0.1879	3.3822
0.58	0.4724	1.7315	0.2728	0.9871	0.4785	0.3268	0.1987	3.4630
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.9798	0.5022	0.3487	0.2094	3.5443
0.62	0.5115	1.8132	0.2821	0.9708	0.5269	0.3713	0.2200	3.6263
0.64	0.5308	1.8546	0.2862	0.9600	0.5530	0.3947	0.2306	3.7092
0.66	0.5499	1.8965	0.2900	0.9474	0.5804	0.4190	0.2409	3.7931
0.68	0.5687	1.9391	0.2933	0.9330	0.6096	0.4440	0.2511	3.8781
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.9165	0.6407	0.4700	0.2610	3.9646
0.72	0.6054	2.0264	0.2987	0.8980	0.6741	0.4971	0.2705	4.0528
0.74	0.6231	2.0715	0.3008	0.8773	0.7103	0.5252	0.2798	4.1429
0.76	0.6405	2.1176	0.3024	0.8542	0.7498	0.5546	0.2886	4.2353
0.78	0.6573	2.1652	0.3036	0.8285	0.7933	0.5854	0.2969	4.3304
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.8000	0.8420	0.6181	0.3047	4.4286
0.82	0.6893	2.2653	0.3043	0.7684	0.8970	0.6528	0.3118	4.5306
0.84	0.7043	2.3186	0.3038	0.7332	0.9605	0.6903	0.3183	4.6371
0.86	0.7186	2.3746	0.3026	0.6940	1.0354	0.7312	0.3239	4.7492
0.88	0.7320	2.4341	0.3007	0.6499	1.1263	0.7769	0.3286	4.8682
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.6000	1.2409	0.8294	0.3322	4.9962
0.92	0.7560	2.5681	0.2944	0.5426	1.3933	0.8923	0.3345	5.1362
0.94	0.7662	2.6467	0.2895	0.4750	1.6131	0.9731	0.3353	5.2933
0.96	0.7749	2.7389	0.2829	0.3919	1.9771	1.0895	0.3339	5.4778
0.98	0.7816	2.8578	0.2735	0.2800	2.7916	1.3060	0.3294	5.7156
1.00	0.7854	2.1416	0.2500	0.0000			0.3117	6.2832

$$Q = A (gD)^{1/2}$$

para flujo crítico

$$Q = (AR^{2/3} S^{1/2})/n$$

para flujo normal (Manning)

Siendo:

- Q = caudal de diseño
- g = 9.8 m/s, aceleración de la gravedad
- A = área hidráulica
- D = profundidad hidráulica
- R = radio hidráulico
- S = pendiente de la tubería
- D = diámetro interno del tubo
- n = 0.013, coeficiente de rugosidad de Manning para tubos de concreto.

El valor de n = 0.13 es un valor de diseño que toma en cuenta la rugosidad propia del tubo y del sistema de alcantarillado con pozos u obstrucciones. El valor de laboratorio normalmente es de 0.09 a 0.10 y es igual al de otros sistemas de tuberías como PVC.

De acuerdo con estudios conducidos en la Universidad de Utah y publicados por la American Concrete Pipe Association (ACPA).

Alcantarillas para carreteras y caminos

Los valores de caudal y la pendiente crítica dados en la tabla 3.17, fueron calculados para las siguientes condiciones:

- Altura del nivel de agua a la entrada menor o igual a la altura de la corona del tubo.
- Control a la entrada: pendiente del tubo 15% mayor a la pendiente crítica (Sc).
- Salida debe estar libre (no sumergida).



Se recomienda:

Uso de tubos reforzados con un diámetro mayor o igual a 600 mm.

Caudal de diseño producido por tormenta con periodo de retorno de 5 años.

Fig. 3.21 Alcantarilla con control a la entrada

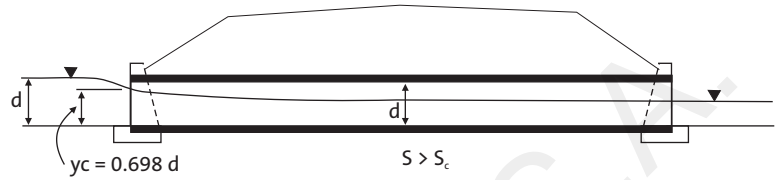


Tabla 3.17 Alcantarillas con nivel máximo del agua en la corona del tubo

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Caudal (m³/seg)	Área (m²)	Pendiente crítica (m/m)
10	10.2	0.005	0.0060	0.0113
15	15.2	0.013	0.0133	0.0099
20	20.3	0.026	0.0238	0.0090
25	25.4	0.046	0.0372	0.0083
30	30.5	0.073	0.0537	0.0078
30	30.0	0.070	0.0519	0.0079
40	40.0	0.144	0.0923	0.0071
50	50.0	0.252	0.1442	0.0066
60	60.0	0.397	0.2076	0.0062
70	70.0	0.584	0.2826	0.0059
80	80.0	0.816	0.3691	0.0057
90	90.0	1.090	0.4672	0.0054
100	100.0	1.420	0.5767	0.0053
120	120.0	2.250	0.8305	0.0050
137	137.2	3.140	1.086	0.0047
152	152.4	4.090	1.340	0.0046
168	167.6	5.180	1.620	0.0044
183	182.9	6.450	1.929	0.0043
213	213.4	9.480	2.626	0.0041

Notas: 1) $\theta_c = 3.01522$ (ángulo a profundidad crítica). 2) $y/d = 0.68862$ (corresponde a θ_c). 3) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning).

En zonas con pendientes bajas a veces resulta difícil colocar el tubo a pendientes mayores que la crítica, los niveles de agua a la salida son altos y sumergen el tubo.

En estos casos varían algunos de los supuestos hechos para el caso anterior y la alcantarilla trabaja con control a la salida.

La tabla 3.18 permite seleccionar el tubo para estas condiciones de flujo para los diferentes tubos trabajando llenos y para varios gradientes hidráulicos (H/L).

Tabla 3.18 Alcantarillas trabajando a tubo lleno

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m ²)	Gradiente = 0.005			Gradiente = 0.01			Gradiente = 0.02			Gradiente = 0.03			Gradiente = 0.04		
			Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	1.5hv (m)
10	10.20	0.0082	0.004	0.471	0.017	0.005	0.666	0.034	0.008	0.942	0.068	0.009	1.15	0.102	0.011	1.33	0.136
15	15.20	0.0181	0.011	0.615	0.029	0.016	0.869	0.058	0.022	1.23	0.116	0.027	1.51	0.174	0.032	1.74	0.231
20	20.30	0.0324	0.024	0.746	0.043	0.034	1.05	0.085	0.048	1.49	0.170	0.059	1.83	0.255	0.068	2.11	0.340
25	25.40	0.0507	0.044	0.866	0.057	0.062	1.22	0.115	0.088	1.73	0.229	0.107	2.12	0.344	0.124	2.45	0.459
30	30.50	0.0731	0.071	0.978	0.073	0.101	1.38	0.146	0.143	1.96	0.293	0.175	2.40	0.439	0.202	2.77	0.586
30	30.00	0.0707	0.068	0.967	0.072	0.097	1.37	0.143	0.137	1.93	0.286	0.167	2.37	0.430	0.193	2.74	0.573
40	40.00	0.1257	0.147	1.17	0.105	0.208	1.66	0.210	0.295	2.34	0.420	0.361	2.87	0.631	0.417	3.31	0.841
50	50.00	0.1963	0.267	1.36	0.142	0.378	1.92	0.283	0.534	2.72	0.566	0.654	3.33	0.849	0.755	3.85	1.13
60	60.00	0.2827	0.434	1.54	0.180	0.614	2.17	0.361	0.868	3.07	0.722	1.06	3.76	1.08	1.23	4.34	1.44
70	70.00	0.3848	0.655	1.70	0.222	0.926	2.41	0.443	1.31	3.40	0.887	1.60	4.17	1.33	1.85	4.81	1.77
80	80.00	0.5027	0.935	1.86	0.265	1.32	2.63	0.530	1.87	3.72	1.06	2.29	4.56	1.59	2.64	5.26	2.12
90	90.00	0.6362	1.28	2.01	0.310	1.81	2.85	0.620	2.56	4.02	1.24	3.14	4.93	1.86	3.62	5.69	2.48
100	100.00	0.7854	1.70	2.16	0.357	2.40	3.05	0.713	3.39	4.32	1.43	4.15	5.29	2.14	4.80	6.11	2.85
120	120.00	1.131	2.76	2.44	0.455	3.90	3.45	0.909	5.51	4.88	1.82	6.75	5.97	2.73	7.80	6.89	3.64
137	137.20	1.478	3.94	2.67	0.544	5.57	3.77	1.09	7.88	5.33	2.17	9.65	6.53	3.26	11.1	7.54	4.35
152	152.40	1.824	5.21	2.86	0.625	7.37	4.04	1.25	10.4	5.72	2.50	12.8	7.00	3.75	14.7	8.09	5.00
168	167.60	2.206	6.72	3.05	0.710	9.50	4.31	1.42	13.4	6.09	2.84	16.5	7.46	4.26	19.0	8.61	5.68
183	182.90	2.627	8.48	3.23	0.798	12.0	4.57	1.60	17.0	6.46	3.19	20.8	7.91	4.79	24.0	9.13	6.38
213	213.40	3.577	12.8	3.58	0.980	18.1	5.06	1.96	25.6	7.16	3.92	31.3	8.76	5.88	36.2	10.1	7.84

Notas: 1) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning) 2) $V =$ velocidad a tubo lleno 3) $hv = V^2/2g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)

Alcantarillas en canales de riego o zanjas de drenaje

Los tubos de concreto se utilizan en estos casos para permitir el paso de peatones, animales o vehículos sobre el canal o la zanja.

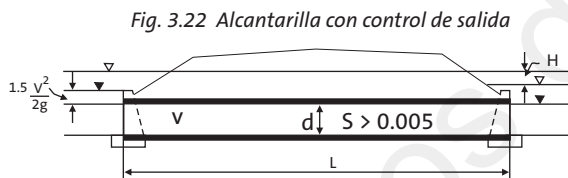


Fig. 3.22 Alcantarilla con control de salida

Condiciones

Tubo reforzado con diámetro mínimo $D = 600 \text{ mm}$. Se pueden considerar los dos siguientes casos generales:

1. Canal ya está construido. Para el tubo trabajando lleno o casi lleno, la velocidad de flujo en la alcantarilla no debe diferir mucho de la del canal.
2. Canal se está diseñando. Las pérdidas se compensan con diferencia de elevación en el canal. La velocidad de flujo para el tubo trabajando lleno no debe exceder:
 - 1.0 m/s en canales de tierra y zanjas
 - 1.5 m/s en canales revestidos

Para que el tubo trabaje lleno, la corona debe estar a $1.5v^2/2g$ bajo el nivel del agua del canal. Las pérdidas de carga (H_t) se estiman en $1.5v^2/2g$.

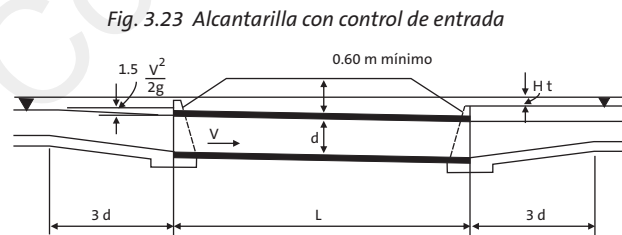


Fig. 3.23 Alcantarilla con control de entrada

Alcantarillado pluvial o sanitario

En alcantarillados pluviales el agua entra al alcantarillado en los pozos. El análisis de cada pozo se realiza utilizando el principio de cambio en la cantidad de movimiento. El valor $1.5 hv$ es el límite de la profundidad que alcanzará el agua en el pozo de registro a la entrada de cada alcantarilla por encima del nivel del agua en el tubo. El valor de $K = 1.5$ puede reducirse mediante el cálculo de las condiciones de flujo en cada pozo.

Cuando el número de Froude tiene un valor igual a 1.1, la alcantarilla tiene control a la entrada, es decir, la geometría y la profundidad del flujo en el pozo a la entrada del tubo determinan el caudal que fluye por la estructura.

Cuando el número de Froude es igual a 0.9, el control está a la salida, o sea que la pendiente del tubo y la profundidad del agua a la salida determinan el caudal que puede evacuar la alcantarilla.

En alcantarillados sanitarios, el agua entra al alcantarillado a lo largo de tubos y no en los pozos. Para ese caudal se puede seleccionar el tubo de la tabla 3.19, pero en este caso se recomienda colocar tapas en el fondo de los pozos y caídas tipo AyA.

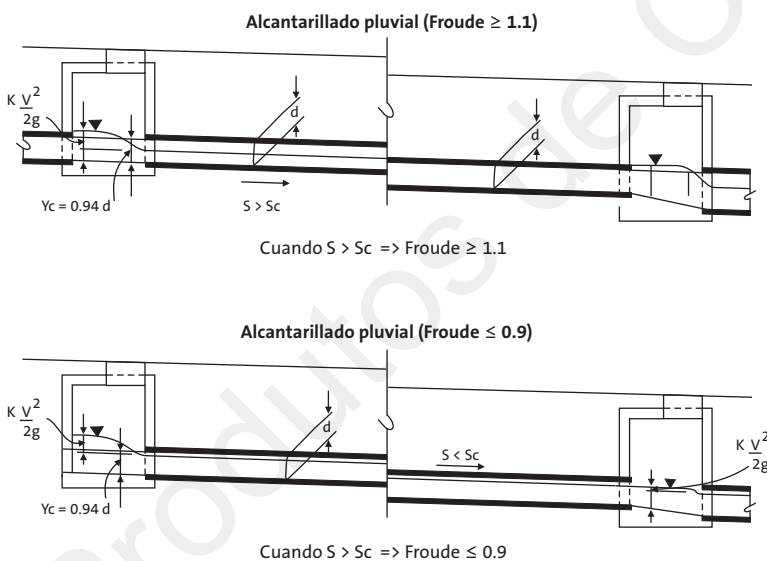
Esta misma tabla se puede usar directamente para seleccionar el tubo que, a una pendiente igual o mayor que la indicada, evacúe un caudal igual o mayor que el del diseño. Sirve tanto para alcantarillado pluvial como sanitario.

Tabla 3.19 Alcantarillas trabajando a la velocidad indicada y a tubo lleno

Diám. nom. (cm)	Diám. int. (cm)	Área (m ²)	Velocidad = 0.600			Velocidad = 1.00			Velocidad = 1.50			Velocidad = 3.00			Velocidad = 5.00		
			Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)	Caudal (m ³ /s)	Sf (m/m)%	1.5hv (m)
10	10.20	0.0082	0.005	0.8106	0.028	0.008	2.252	0.077	0.012	5.066	0.172	0.025	20.26	0.689	0.041	56.29	1.91
15	15.20	0.0181	0.011	0.4762	0.028	0.018	1.323	0.077	0.027	2.976	0.172	0.054	11.91	0.689	0.091	33.07	1.91
20	20.30	0.0324	0.019	0.3238	0.028	0.032	0.8994	0.077	0.049	2.024	0.172	0.097	8.095	0.689	0.162	22.49	1.91
25	25.40	0.0507	0.030	0.2402	0.028	0.051	0.6671	0.077	0.076	1.501	0.172	0.152	6.004	0.689	0.253	16.88	1.91
30	30.50	0.0731	0.044	0.1882	0.028	0.073	0.5227	0.077	0.110	1.176	0.172	0.219	4.704	0.689	0.365	13.07	1.91
30	30.00	0.0707	0.042	0.1924	0.028	0.071	0.5343	0.077	0.106	1.202	0.172	0.212	4.809	0.689	0.353	13.36	1.91
40	40.00	0.1257	0.075	0.1311	0.028	0.126	0.3641	0.077	0.188	0.8192	0.172	0.377	3.277	0.689	0.628	9.102	1.91
50	50.00	0.1963	0.118	0.0973	0.028	0.196	0.2704	0.077	0.295	0.6084	0.172	0.589	2.434	0.689	0.982	6.760	1.91
60	60.00	0.2827	0.170	0.0763	0.028	0.283	0.2120	0.077	0.424	0.4771	0.172	0.848	1.908	0.689	1.41	5.301	1.91
70	70.00	0.3848	0.231	0.0622	0.028	0.385	0.1727	0.077	0.577	0.3885	0.172	1.15	1.554	0.689	1.92	4.316	1.91
80	80.00	0.5027	0.302	0.0520	0.028	0.503	0.1445	0.077	0.754	0.3251	0.172	1.51	1.300	0.689	2.51	3.612	1.91
90	90.00	0.6362	0.382	0.0445	0.028	0.636	0.1235	0.077	0.954	0.2779	0.172	1.91	1.111	0.689	3.18	3.087	1.91
100	100.00	0.7854	0.471	0.0386	0.028	0.785	0.1073	0.077	1.18	0.2414	0.172	2.36	0.9658	0.689	3.93	2.683	1.91
120	120.00	1.131	0.679	0.0303	0.028	1.13	0.0842	0.077	1.70	0.1893	0.172	3.39	0.7574	0.689	5.65	2.104	1.91
137	137.20	1.478	0.887	0.0253	0.028	1.48	0.0704	0.077	2.22	0.1584	0.172	4.44	0.6335	0.689	7.39	1.760	1.91
152	152.40	1.824	1.09	0.0222	0.028	1.82	0.0612	0.077	2.74	0.1377	0.172	5.47	0.5507	0.689	9.12	1.530	1.91
168	167.60	2.206	1.32	0.0194	0.028	2.21	0.0539	0.077	3.31	0.1213	0.172	6.62	0.4851	0.689	11.0	1.348	1.91
183	182.90	2.627	1.58	0.0173	0.028	2.63	0.0480	0.077	3.94	0.1079	0.172	7.88	0.4318	0.689	13.1	1.199	1.91
213	213.40	3.577	2.15	0.0141	0.028	3.58	0.0391	0.077	5.37	0.0879	0.172	10.7	0.3515	0.689	17.9	0.9764	1.91

Notas: 1) $n = 0.013$ (coeficiente de Manning) 2) $Sf =$ pérdidas por fricción por metro (%) 3) $hv =$ carga de velocidad ($V^2/2g$) 4) Velocidad en metros por seg.

Fig. 3.24 Detalle de alcantarillado pluvial



Velocidades máximas y mínimas recomendadas

La velocidad en tubería se puede determinar por medio de la fórmula:

$$V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$$

En las tuberías de concreto la velocidad máxima se controla más que todo por un tema de durabilidad.

Cuando la velocidad es muy alta puede generar cavitación y dependiendo de la características de los sólidos disueltos en el agua un problema de erosión.

Así mismo la velocidad del efluente en alcantarillas de carreteras o caminos debe controlarse por un tema de erosión del suelo circundante a la salida de esta.

Usualmente la velocidad máxima recomendada en tuberías de concreto es de hasta 6 m/s aunque AYA la solicita mantener en 5 m/s.

Por otro lado, la velocidad mínima en una tubería está relacionada con el arrastre de sólidos y permitir una autolimpieza de esta. Bajo este criterio se define que se debe tener una fuerza de arraste de por lo menos 1 N/m² (aprox 0.6 m/s en los casos usuales).

Otro punto que controla la velocidad mínima es un tema de aireación del efluente en alcantarillados sanitarios para prevenir la formación de sulfuros y la corrosión de la tubería.

El proceso de corrosión se da por la transformación de los sulfatos presente en las aguas negras a sulfuro de hidrógeno por la bacteria *Concretivorus* la cual se desarrolla en medios anaeróbicos y da origen al ácido sulfúrico que corroe la superficie de concreto.

Los medios de evitar la producción de la bacteria es controlando el pH del agua, el contenido de oxígeno y la velocidad del flujo.

Los valores sugeridos para las velocidades mínimas de aguas residuales en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se muestra en la tabla 3.21.

Tabla 3.20 Características de los tubos trabajando a 0.94 del diámetro

Diámetro nominal (cm)	Diámetro interior (cm)	Área (0.94) (m ²)	2/3 AR (m ⁸ /3)	Número de Froude = 1.10				Número de Froude = 0.90			
				Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)	Caudal (m ³ /s)	V (m/s)	Sf (m/m)	1.5 hv (m)
10	10.20	0.0088	0.0008	0.010	1.29	0.0348	0.009	0.009	1.14	0.0280	0.100
15	15.20	0.0177	0.0022	0.027	1.57	0.0305	0.025	0.025	1.40	0.0246	0.149
20	20.30	0.0316	0.0048	0.057	1.82	0.0277	0.051	0.051	1.61	0.0223	0.199
25	25.40	0.0494	0.0087	0.099	2.03	0.0257	0.089	0.089	1.80	0.0207	0.249
30	30.50	0.0713	0.0141	0.156	2.23	0.0242	0.141	0.141	1.98	0.0195	0.299
30	30.00	0.0690	0.0135	0.150	2.21	0.0210	0.277	0.135	1.96	0.0169	0.294
40	40.00	0.1226	0.0291	0.308	2.55	0.0190	0.484	0.277	2.26	0.0153	0.392
50	50.00	0.1915	0.0528	0.538	2.85	0.0177	0.605	0.485	2.53	0.0142	0.490
60	60.00	0.2758	0.0859	0.849	3.13	0.0166	0.726	0.764	2.77	0.0134	0.588
70	70.00	0.3754	0.1295	1.25	3.38	0.0158	0.847	1.12	2.99	0.0127	0.686
80	80.00	0.4903	0.1849	1.74	3.61	0.0151	0.968	1.57	3.20	0.0122	0.784
90	90.00	0.6206	0.2532	2.34	3.83	0.0145	1.09	2.11	3.39	0.0117	0.882
100	100.00	0.7662	0.3353	3.05	4.04	0.0140	1.21	2.74	3.58	0.0113	0.980
120	120.00	1.103	0.5452	4.81	4.42	0.0132	1.45	4.32	3.92	0.0106	1.18
137	137.20	1.442	0.7793	6.72	4.73	0.0216	1.66	6.04	4.19	0.0102	1.34
152	152.40	1.779	1.031	8.73	4.98	0.0122	1.84	7.86	4.42	0.00980	1.49
168	167.60	2.152	1.329	11.1	5.22	0.0118	2.03	9.97	4.63	0.0095	1.64
183	182.90	2.563	1.677	13.8	5.46	0.0115	2.21	12.4	4.84	0.0092	1.79
213	213.40	3.489	2.531	20.3	5.89	0.0109	2.58	18.2	5.23	0.0088	2.09

Notas:1) $n = 0.013$ (para tubos menores que 30 cm)2) $n = 0.014$ (para tubos mayores que 30 cm)3) $V =$ velocidad (para $F = 1.1$ se calculó a $0.9178 d$)4) $h_v = V^2/2g$ (para $F = 1.1$ se calculó a $y = 0.94 d$)5) $S_f =$ pendiente de fricción (para $F = 1.1$ se calculó a $y = 0.9178 d$)6) Si la caída $K V^2/2g$ en el pozo es grande (>45 cm) se recomienda utilizar la caída y pozo tipo AyA.

Tabla 3.21 Velocidad mínima de aguas residuales

DBO efectiva	Velocidad mínima real
m/l	m/s
Hasta 225	0.50
de 226 a 350	0.65
de 351 a 500	0.75
de 501 a 690	0.90
de 691 a 900	1.00

Desde el punto de vista de corrosión si no fuera posible controlar la velocidad mínima a los valores recomendados se puede recurrir a modificar las características de las tuberías de concreto aumentando el recubrimiento, utilizando agregados calcáreos, cemento puzolánico, con revestimientos de polietileno o con aditivos integrales o externos que inhiben el desarrollo de la bacteria.

3.7 Instalación

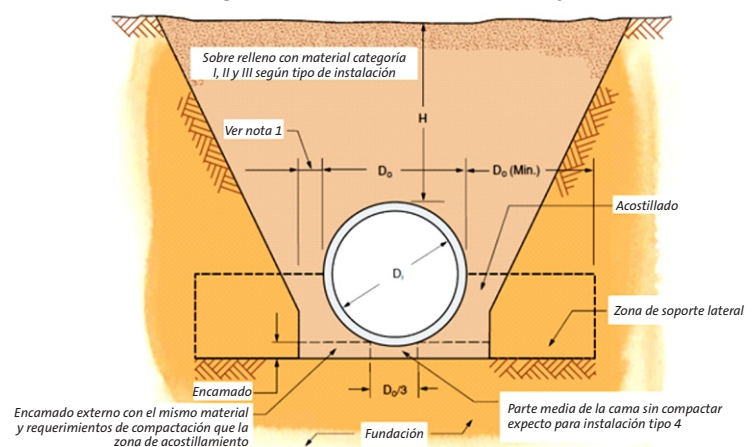
Configuraciones de instalación

Cuando se instalan tuberías se pueden tener las cuatro posibles configuraciones que se muestran en la Fig. 3.19, pero las más usuales se ilustran en la Fig. 3.25.

En estas configuraciones se tiene:

- La tierra en el área de la zanja desde la fundación al eje de la tubería del tubo proporciona un soporte importante al tubo y reduce el esfuerzo del tubo.
- Un encamado suelto sin compactar directamente bajo el inverso del tubo reduce significativamente la tensión y el esfuerzo del tubo.
- Los materiales de instalación y los niveles de compactación debajo del eje de la tubería tienen un efecto importante en los requerimientos estructurales del tubo.

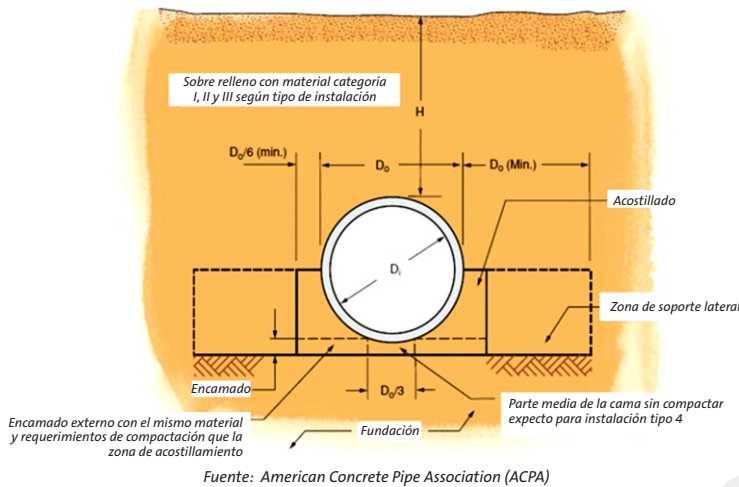
Fig. 3.25 Instalación en trinchera o zanja



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

- El suelo, las secciones del encamado y del área del acostillado que están directamente bajo el tubo son difíciles de compactar.
- El nivel de compactación del suelo directamente arriba del acostillado, del eje de la tubería del tubo a la parte superior del lomo del tubo, tiene un efecto insignificante sobre la tensión del tubo. La compactación del suelo en esta área no es necesaria a menos que sea requerida para la estructura del pavimento.

Fig. 3.26 Instalación en terraplén en proyección positiva



- El suelo en el encamado exterior, el acostillado, y las zonas soporte lateral, excepto dentro de $D_o/3$ del eje de la tubería del tubo, deberán de compactarse a cuando menos el mismo nivel de compactación que para la mayor parte del suelo en la zona de relleno.
- Cuando se realizan subzanjas, su parte superior debe de estar por lo menos a $0.1 H$ del nivel de referencia o del relleno terminado. Cuando se trate de caminos esta distancia debe ser por lo menos de 30 cm por debajo del material base del pavimento.
La subzanja en terreno natural se usa en una instalación en terraplén para retener el material de la cama.
- El ancho mínimo de una subzanja debe ser de $1.33 D_o$, o mayor si así se requiere para un espacio adecuado con la finalidad de alcanzar la compactación especificada en las zonas del acostillado y el encamado.
- Para las subzanjas con paredes de suelo natural, cualquier porción de la zona de soporte lateral que quede en la zona de la subzanja deberá estar tan firme como un suelo equivalente colocado con los requerimientos de compactación especificados para la zona de soporte lateral y tan firme como la mayor parte del suelo en la zona de relleno, o deberá ser removido y reemplazado con un suelo compactado al nivel especificado.
- Cuando se considera una instalación en trinchera la parte superior de esta no debe estar a más de $0.1H$ del nivel de referencia terminado y en carreteras a no más de 30 cm debajo de la base del pavimento.
- Para las paredes de la zanja que están a 10 grados de la vertical, no se necesita considerar la compactación o firmeza del suelo en la zona de las paredes de la zanja y en la zona de soporte lateral.

- Para las paredes de zanja con inclinaciones mayores a 10 grados que consisten de terraplén, el lado de soporte lateral deberá compactarse a cuando menos la misma compactación que la especificada para el suelo en la zona de relleno.

Los anchos mínimos de zanja se muestran en la Tabla 3.22. Estos están basados en 1.25 veces el diámetro externo de la tubería mas 300 mm.

Tabla 3.22 Anchos mínimos de zanja

Diámetro de la tubería mm	Ancho de zanja mm
100	470
150	540
200	600
250	680
300	800
375	910
450	1020
525	1100
600	1200
675	1300
825	1600
900	1700
1050	1900
1200	2100
1350	2300
1500	2500
1650	2800
1800	3000
1950	3200
2100	3400
2250	3600
2400	3900

Preparación de la zanja

Realizar el corte del terreno de manera segura, tomando en cuenta el tipo de suelo, la profundidad de la excavación y el ademe correspondiente.

En el caso de terrenos arcillosos o margosos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible dejar abierta la zanja por tiempo prolongado, se deberá dejar sin excavar unos veinte centímetros sobre la rasante, para realizar su acabado en el momento de la instalación de la tubería.

Se debe excavar hasta la línea de la rasante siempre que el terreno sea uniforme; si quedan al descubierto elementos rígidos, tales como piedras, rocas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior, manteniendo la capacidad portante del terreno.

De ser preciso efectuar voladuras para las excavaciones, en general en poblaciones, se adoptarán precauciones para la protección de personas o propiedades, siempre de acuerdo con la legislación vigente. Teniendo cuidado de nivelar y compactar el fondo de la zanja.

El material procedente de la excavación se apila lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de estas o que los desprendimientos puedan poner en peligro a los trabajadores. Se recomienda ubicarlo a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2 m para zanjas no ademasadas y 0.9 m para zanjas ademasadas (Fig. 3.27).

El material extraído se usa frecuentemente para el posterior relleno, por lo que es conveniente acopiarlo a lo largo de la zanja a una distancia adecuada de uno de sus bordes.

La cama de apoyo se debe construir de acuerdo con los lineamientos de la sección anterior y dejar previsto el bajo relieve necesario para alojar la campana.



Colocación del tubo

a. Limpiar los extremos de los elementos

Eliminar cualquier suciedad o materia extraña en la campana o en la "espiga", que pueda impedir a la junta de neopreno cumplir su función (Fig. 3.28).

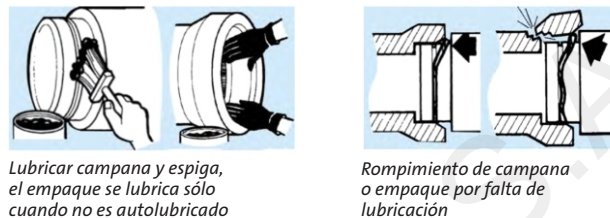


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

b. Lubricar la campana y el empaque

Cuando se utilizan empaques no autolubricados tipo gota u "oring" y no se lubrica bien la campana, puede ocurrir que la junta de goma se pegue, causando algunas veces el resquebrajamiento de la campana o que el empaque quede ubicado fuera de su posición.

Fig. 3.29 Instalación de empaques no autolubricados

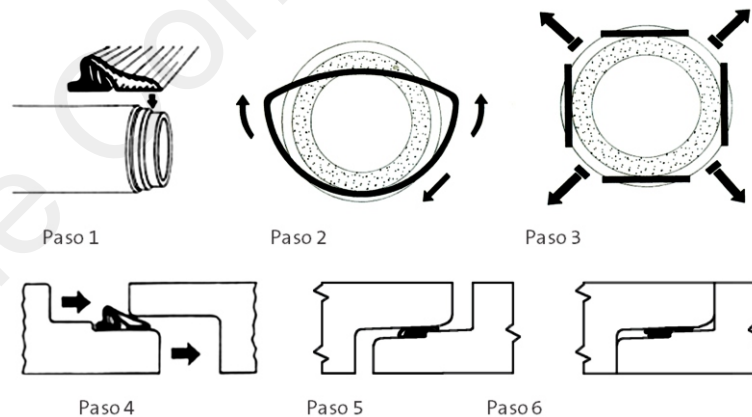


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En lo que respecta al empaque se debe tener en cuenta la recomendación del fabricante de la tubería, por cuando el espacio anular para acomodar dicho empaque es crucial para lograr la hermeticidad deseada y no quebrar la tubería.

Por el mejor desempeño y facilidad constructiva el empaque que se recomienda utilizar en la mayoría de los casos es el empaque autolubricado de la figuras 3.12 y 3.30.

Fig. 3.30 Instalación de empaque autolubricado



c. Alinear la tubería

Si la campana y la "espiga" no están niveladas o no han sido cuidadosamente alineadas, el empaque tiende a salirse causando una fuga o el agrietamiento de la campana.

Fig. 3.31 Tuberías mal alineadas



d. Colocación de la tubería

Usar una máquina para empujar y conectar tubos o para colocarlos en el suelo, puede ejercer demasiada presión ocasionando su rotura o agrietamiento.

Para diámetros menores (< 600 mm) el empuje de la tubería puede realizarse de manera manual, colocando un soporte de madera que reparte la fuerza de empuje en varios puntos de la circunferencia.

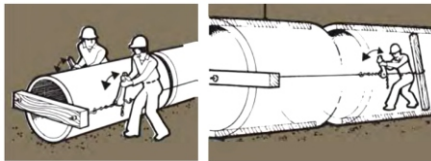
Fig. 3.33 Instalación manual de tuberías de diámetros menores



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

En el caso de diámetros mayores, se entraba una pieza de madera uno o dos tubos hacia atrás en la línea de tubería ya instalada, se une a esa pieza un cable de acero con un teclé para ajustar la posición del tubo.

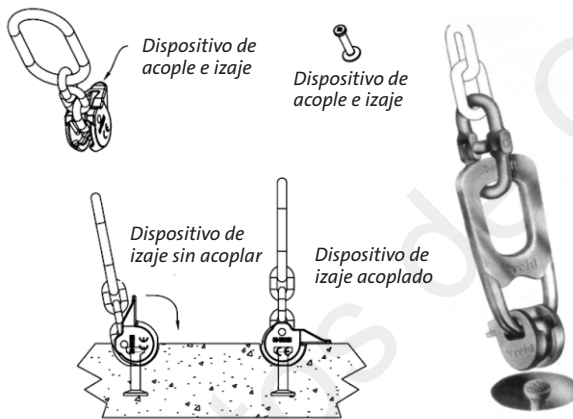
Fig. 3.34 Instalación de tuberías de diámetros mayores



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

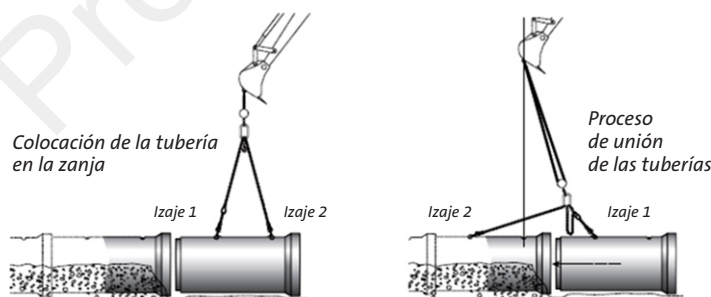
Dependiendo del tipo de tubería y si cuenta con el tipo de izaje por medio de pin de la Fig. 3.35, se puede utilizar para el proceso de instalación.

Fig. 3.35 Dispositivos de izaje y acople



Este sistema permite izar la tubería como se ilustra en la Fig. 3.36 y por medio del mismo aparejo y con un movimiento de la retroexcavadora hacer la unión de las tuberías.

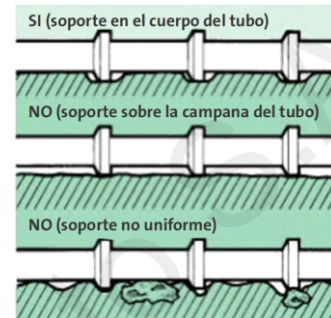
Fig. 3.36 Unión de tuberías por medio de sistema de izaje Lifting Eye



e. Soportar correctamente la campana

Cuando no se ha cavado bien el hueco para la campana, esta o el tubo en su totalidad pueden agrietarse o romperse. En la Fig. 3.37 se muestra la forma correcta e incorrecta de soportar la campana.

Fig. 3.37 Soporte adecuado de la campana en tuberías

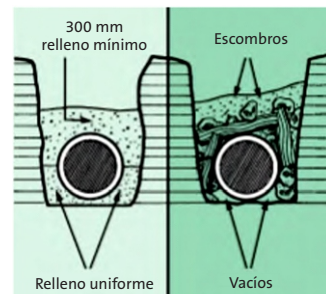


Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

f. Relleno de la zanja

- Rellenar y compactar con medios ligeros hasta completar a la mitad del tubo.
- El material de relleno no debe tener presencia de escombros o material orgánico.
- Realizar el relleno lateral alternando, para evitar desplazamientos del tubo.

Fig. 3.38 Relleno adecuado



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Seguridad en trabajos de instalación de tuberías

Los riesgos más comunes para el personal:

- Desprendimiento de tierras
- Caída de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al interior de la zanja
- Enterramientos accidentales
- Atrapamientos de personas por la maquinaria, los vehículos de obra y los derivados por interferencias con conducciones enterradas, inundaciones, golpes por objetos, caídas de objetos, etc.

Dadas las graves consecuencias que se pueden derivar deben adoptarse normas y medidas preventivas.

Estas normas y medidas pueden resumirse en:

- El personal que va a trabajar en el interior de las zanjas debe conocer ampliamente los riesgos asociados al trabajo.
- Contar con una escalera sólida para el acceso y salida de una zanja, anclada en el borde superior de la zanja y apoyada sobre una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera debe sobrepasar en 1 m el borde de la zanja. No se debe escalar por los ademes de la excavación para salir.
- Para pasar por encima de una zanja se deben instalar pasarelas adecuadas.
- Los acopios (tierras, materiales, etc.) deben ubicarse a una distancia del borde de la mitad de la profundidad de la zanja o 2 m para zanjas no ademadas y 0.9 m para zanjas ademadas.
- Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m del borde.
- Si los trabajos requieren iluminación fija se efectuará mediante torres aisladas con toma de tierra, en las que se instalarán proyectores de intemperie, alimentados a través de un panel eléctrico general de obra.
- Si los trabajos requieren iluminación portátil, la alimentación de las lámparas se efectuará a 24 V. Los equipos portátiles estarán provistos de rejilla protectora y de carcasas o mangos aislados eléctricamente.
- En caso de taludes que deban quedar estables durante largo tiempo, se debe colocar protección adecuada para control de erosión y estabilidad.
- Se revisará el estado de cortes o taludes a intervalos regulares en aquellos casos en los que puedan recibir empujes exógenos por proximidad de caminos, calles, carreteras, etc. Esto se hará en especial si en la proximidad se realizan excavaciones con uso de martillos neumáticos, compactaciones por vibración o paso de maquinaria para el movimiento de tierras.
- Los trabajos a realizar en los bordes de las zanjas, con taludes no muy estables, se ejecutarán sujetos con el cinturón de seguridad amarrado a "puntos fuertes" ubicados en el exterior de las zanjas.
- Se efectuará el achique inmediato de las aguas que afloran (o caen) en el interior de las zanjas para evitar que se altere la estabilidad de los taludes.

- Las zanjas deben estar rodeadas de un bordillo que puede ser prefabricado o conformado en el terreno, para impedir la caída de materiales sobre el personal que trabaja en el fondo de la excavación.
- No se debe suprimir nunca uno o varios ademes sin un plan preestablecido por el profesional responsable, ya que entonces el ademe restante no necesariamente cuenta con suficiente resistencia para impedir un derrumbe.

En lo que se refiere al equipo de protección personal se debe utilizar como mínimo: casco, gafas, cinturón de seguridad, guantes de cuero, botas de seguridad, botas de goma, ropa de trabajo, traje para ambientes húmedos o lluviosos y protectores auditivos.

Frecuencia en las inspecciones de las excavaciones:

- Se revisarán los ademes tras la interrupción de los trabajos (receso nocturno o de más de dos horas) antes de reanudarse estos de nuevo.
- Diariamente antes de cada turno de trabajo.
- Según sea necesario durante cada turno de trabajo.
- Después de llover o de cualquier otro acontecimiento que pueda elevar los riesgos (por ejemplo, el que vehículos o equipos se acerquen al borde de una excavación).

Las inspecciones deben ser realizadas por una persona competente que:

- Haya recibido adiestramiento en el análisis de suelo.
- Haya recibido adiestramiento en el uso de sistemas de protección.
- Tenga la autoridad y conocimiento para eliminar riesgos inmediatamente.

3.8 Almacenaje y manipuleo

Transporte y recepción del producto

Transporte

- El transporte de los tubos se debe realizar sin provocar daños al producto.
- Los tubos se aseguran de manera que se impida el movimiento, acomodándolos en estibas con campanas alternas y calzado sobre piezas de madera que eviten el contacto de las campanas con la superficie de apoyo.

Recepción

Sin bajar el producto del camión:

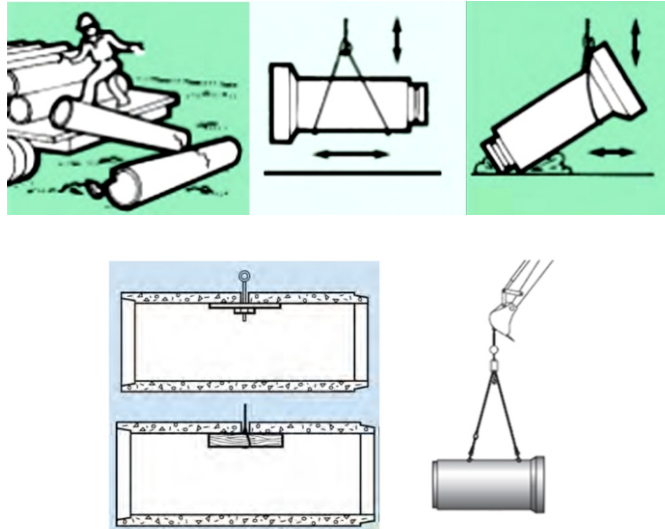
- Comprobar la cantidad y el tipo de tubería contra la orden de entrega.
- Inspeccionar el producto, si existen grietas visibles, estas no deben extenderse a través de la pared y la anchura no debe ser superior a 0,15 mm.

Descarga del producto

- Las tuberías deben levantarse por medios mecánicos. No deben ser "empujados" o lanzados.

- En la descarga utilizando equipo, el izado se debe realizar del cuerpo para no dañar los bordes del elemento y se puede realizar con cadenas o eslingas.
- Cuando el levantamiento se realiza con excavadoras o retroexcavadoras, la carga de seguridad del equipo no debe ser superada.

Fig. 3.39 Descarga e izaje adecuado



Fuente: American Concrete Pipe Association (ACPA)

Almacenamiento

Aunque las tuberías son fuertes, los extremos son particularmente susceptibles a los daños. Por lo tanto, es importante al apilar tuberías tener en cuenta:

- Ubicar el producto lo más cercano del sitio de instalación en el lado opuesto a las tierras de excavación. Considerar que cuente con el espacio disponible para manipular la tubería.
- El sitio de descarga debe estar nivelado, libre de escombros o lodo, tener capacidad para soportar el peso de las tuberías a apilar.
- Colocar los tubos en grupos de un mismo diámetro.
- Para almacenamiento en varias hiladas, ubicar parales verticales y calzas a los extremos de la primera hilada de tubos para prevenir desplazamientos.
- En piso de concreto, ubicar piezas de madera bajo la tubería para evitar el contacto de la campana con la superficie de apoyo.
- En piso de lastre, excavar bajo las campanas para evitar su apoyo.
- La hilada siguiente se colocará de tal manera que todas las campanas estén al mismo lado y sobresalgan los machos de la hilada anterior (espigas y campanas alternas).

Tabla 3.23 Carga máxima de tubería ASTM C76 clase III por tipo de transporte

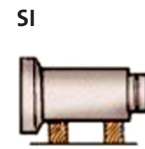
Díametro Nominal mm	Lu mm	Lt mm	W Kg	T mm	Pick Up u	Mediano u	Camión u	Tándem u	Trailer u
300	2500	2590	213	406	13	24	42	63	115
400	1250	1340	349	520	12	12	26	39	70
	2500	2590	551	510	5	5	16	24	44
500	1250	1340	393	640	9	9	23	34	62
	2500	2590	760	615	5	5	12	18	32
600	1250	1340	517	750	5	5	18	26	47
	2500	2590	995	720	3	3	9	13	25
700	1250	1340	678	870	5	5	13	20	36
	2500	2590	1306	825	3	3	7	10	19
800	1250	1340	857	930	3	3	9	16	26
	2500	2590	1656	948	1	1	5	6	11
	2500	2590	1714	930	1	1	5	6	11
900	1250	1340	997	1100	2	2	8	12	20
	2500	2590	1937	1054	1	1	4	6	10
	2500	2590	1994	1035	1	1	4	6	10
1000	2500	2600	2195	1220	1	1	4	5	9
1200	2500	2600	3239	1450	1	1	3	4	7
	2500	2615	3122.1	1450	1	1	3	4	7
1350	2500	6368.65	3868.65	1629	1	1	3	3	5
1370	2000	2120	2304	1652	1	1	3	4	7
1500	2500	7174	4674	1803	1	1	2	2	4
1520	1250	1370	2449	1828	1	2	3	4	6
1520	2000	2120	3902	1828	1	1	2	3	6
1680	1250	1350	3126	2006	1	2	3	3	6
1800	2500	2500	6519	2153		1	1	1	3
1830	1250	1350	3458	2184		1	2	3	5
2130	1250	1350	4546	2540			2	2	4
2440	1250	1350	6000	2900			1	2	4

- Por seguridad se recomienda no tener estibas mayores de 1.8 m.
- Los empaques deben ser almacenados en un lugar fresco, seco y oscuro, manteniéndolos libres de polvo, grasas, aceites y principalmente los rayos del sol.

Tabla 3.24 Peso máximo por tipo de transporte utilizado

Transporte	Peso máximo kg
Pick Up	4674
Mediano	6519
Camión	11606
Tándem	13712
Trailer	24875

Fig. 3.40 Almacenamiento adecuado



Apoyo en la parte recta



Apoyo en la campana

Productos de Concreto S.A.

