

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE GRADUACIÓN
“PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA
ESPERANZA, LA CRUZ, GUANACASTE”

AUTOR:

CARLOS LUIS VARGAS VARGAS

HEREDIA – COSTA RICA

9 DE MAYO DEL 2022



TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: “PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA ESPERANZA, LA CRUZ GUANACASTE”, por el (la) estudiante: Carlos Luis Vargas Vargas, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

Alberto González Solera

Tutor

Jose Joaquín Rodríguez Rodríguez

Lector

Jose María Ulate Zarate

Representante



COMITÉ ASESOR

Ing. Alberto González Solera

Tutor

Ing. Jose Joaquín Rodríguez Rodríguez

Lector

Ing. Jose María Ulate Zarate

Representante

9 de mayo de 2022

Señores

Comité de Trabajos Finales de Graduación Universidad Latina de Costa Rica

Sede Heredia

Estimados señores:

Yo, Yessenia Pérez Cisneros, cédula 2-0607-0752, vecina de El Carmen de Guadalupe, de profesión filóloga y profesora universitaria, bachiller en Filología Española, licenciada en Docencia y máster en Literatura Latinoamericana, e inscrita ante el Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Arte (COLYPRO) bajo el carné 59520, y que cuento con conocimientos y amplia experiencia en revisión filológica de textos, doy fe de que he revisado el trabajo final de graduación titulado **“Propuesta de diseño pluvial para el proyecto Nueva Esperanza, La Cruz, Guanacaste”** del estudiante Carlos Luis Vargas Vargas, cédula 2-0765-0527, carné universitario 20170220172, para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería civil.

**YESENIA PEREZ
CISNEROS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por YESENIA PEREZ
CISNEROS (FIRMA)
Fecha: 2022.05.09

08:08:51 -06'00'

Firma



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

Heredia, 3 de mayo del 2022

Sres. Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado “PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA ESPERANZA, LA CRUZ GUANACASTE”, elaborado por el estudiante: Carlos Luis Vargas Vargas, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura, con énfasis 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,

**ALBERTO
GONZALEZ
SOLERA
(FIRMA)**

Firmado digitalmente por ALBERTO
GONZALEZSOLERA (FIRMA)
Nombre de reconocimiento (DN):
serialNumber=CPF-01-0919-0803,
sn=GONZALEZSOLERA,
givenName=ALBERTO, c=CR, o=PERSONA
FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ALBERTO
GONZALEZ SOLERA (FIRMA)
Fecha: 2022.05.03 08:27:50 -06'00'

Versión de Adobe Acrobat: 2015.007.00000

Esp. Ing. Alberto González Solera
IC-16251
Consultor Ambiental CI-232-2015-SETENA
Fiscal de Inversión CFIA/ Perito Poder Judicial.



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR
DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Heredia, 25 de abril del 2022

Señores

Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: “PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA ESPERANZA, LA CRUZ GUANACASTE”, elaborado por el (los) estudiante(s): Carlos Luis Vargas Vargas como requisito para que el (los) citado(s) estudiante(s) puedan optar por de 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,



Ing. José J. Rodríguez Cod. 64791

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas que se acercaron a mí para ayudarme o pedirme ayuda, para hacerme reír, para estudiar o para regalarme parte de su tiempo. Al lado de estas personas la carga se hizo menor y las horas más cortas.

Agradecerles a Giovanni Arguedas Morales, Alberto González Solera y Jose Joaquín Rodríguez Rodríguez, quienes fueron profesores de los cuales aprendí muchísimo dentro y fuera de las aulas.

Quiero agradecer también a esas personas que siempre han estado ahí, los amigos incondicionales que son testigos del esfuerzo y dedicación con los cuales se fueron superando cada uno de los peldaños.

DEDICATORIA

Quiero dedicarles la presente investigación a mi padre Carlos Luis Vargas Rodríguez, a mi madre Olaya Vargas Marín y a mi padrino Pablo Vargas Rodríguez, quienes han sido parte fundamental de mi proceso de formación como ingeniero.

De todo corazón quiero agradecerle a mi madre por haberme enseñado siempre a hacer lo correcto, aun cuando este no sea el camino más fácil o corto. Al inculcarme valores como la honradez, respeto y perseverancia, no solo hizo de mí una mejor persona, sino creó una manera de pensar ganadora, de primer mundo.

Tuve la compañía de personas menores que yo, que ya tenían grupos de amigos establecidos y para los cuales yo era un simple desconocido. La decisión de haberme acercado a ellas ha sido una de las mejores que he tomado, pues cambiaron mi vida e hicieron el camino más sencillo y llevadero. Fue así como conocí a algunas de las personas más maravillosas que me he topado. Amigos, los recordaré por siempre.

Dedicado también a mis compañeros y demás personas que me acompañaron en el camino. Mi más grande admiración, cariño y gratitud a mi tutor, profesor y amigo, Alberto González Solera, un hombre que se ha ganado mi respeto al ser el mejor educador que he conocido, el cual ha puesto a disposición de los estudiantes el conocimiento adquirido a través de años de ejercer la ingeniería, esto sin guardarse nada, con la consigna de graduar mejores profesionales para tener un país mejor.

De antemano disculparme con todas las personas que han sido cercanas a mí y no pude agradecer en esta dedicatoria.

A todas aquellas personas que se encuentran en camino a realizar sus sueños, quiero recordarles que el parabrisas siempre será más grande que el retrovisor, por lo que los insto a avanzar y no mirar atrás.

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Carlos Luis Vargas Vargas, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy autor intelectual del proyecto de graduación titulado:

“PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA ESPERANZA, LA CRUZ, GUANACASTE”

Por lo que libero a la Universidad Latina de Costa Rica de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Brindada en San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica, a los 7 días del mes de mayo del año 2022.

**CARLOS LUIS
VARGAS
VARGAS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por CARLOS LUIS
VARGAS VARGAS
(FIRMA)

Fecha: 2022.05.09

15:04:09 -06'00'

Carlos Luis Vargas Vargas
Nombre y apellidos
Cédula número 2 0765 0527

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)
 Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros):	Carlos Luis Vargas Vargas
De la Carrera / Programa:	Licenciatura en ingeniería civil
Modalidad de TFG:	Proyecto Final de graduación
Titulado:	“PROPUESTA DE DISEÑO PLUVIAL PARA EL PROYECTO NUEVA ESPERANZA, LA CRUZ GUANACASTE”

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el “**AUTOR**”), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la “**OBRA**”). **SEGUNDO:** El **AUTOR** autoriza y cede a favor de la **UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L.** con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la “**UNIVERSIDAD**”), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la **OBRA** necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la **OBRA** con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El **AUTOR** acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la **UNIVERSIDAD** no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El **AUTOR** garantiza la originalidad de la **OBRA**, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la **OBRA**, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del **AUTOR** y este garantiza mantener indemne a la **UNIVERSIDAD** ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El **AUTOR** se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la **UNIVERSIDAD** **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el **AUTOR** y la **UNIVERSIDAD**, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El **AUTOR** acepta que la **UNIVERSIDAD**, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías,

audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de presentación relacionado con la **OBRA**, y el **AUTOR**, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la **UNIVERSIDAD**, por lo que el **AUTOR** haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. **OCTAVO:** El **AUTOR** concede a **UNIVERSIDAD.**, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD.** puede, sin cambiar el contenido, traducir la **OBRA** a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. **NOVENO:** El **AUTOR** acepta que **UNIVERSIDAD** puede conservar más de una copia de este envío de la **OBRA** por fines de seguridad, respaldo y preservación. El **AUTOR** declara que el envío de la **OBRA** es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. **DÉCIMO:** El **AUTOR** manifiesta que la **OBRA** y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la **OBRA** contiene material del que no posee los derechos de autor, el **AUTOR** declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a **UNIVERSIDAD** los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el **AUTOR** autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la **UNIVERSIDAD** utiliza la **OBRA** sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. **SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO.** La presente autorización se extiende el día de 7 de mayo del 2022 a las 15:00h.

Firma del estudiante(s):

**CARLOS LUIS
VARGAS
VARGAS
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por CARLOS LUIS
VARGAS VARGAS
(FIRMA)

Fecha: 2022.05.09

15:05:00 -06'00'

**Carlos Luis Vargas Vargas
Cédula número 2 0765 0527**

RESUMEN

El crecimiento urbano en la ciudad ha provocado un aumento en la impermeabilización de los suelos, debido a la construcción de diferentes estructuras como por ejemplo superficies de rodamientos y estructuras de techo, lo cual provocó alteraciones en los tiempos de recorridos de las aguas llovidas, tiempos de infiltración, áreas de filtración y coeficientes de escorrentía.

En consecuencia, surgen los sistemas de evacuación de aguas precipitadas para evitar el proceso de erosión, inundaciones, daños a estructuras y ambientales, por lo que surge la necesidad de intervenir a modo de mejora en el proyecto Nueva Esperanza, ya que este no tiene un sistema de alcantarillado pluvial que tome en cuenta las necesidades específicas del proyecto, por tal motivo es de suma importancia crear un diseño óptimo, que cumpla con los requerimientos para velar por las necesidades de la población, su seguridad física y material, además del proyecto como tal.

Como respuesta a esto se propone un diseño de alcantarillado pluvial y disposición final de aguas llovidas. Dicho diseño brinda soluciones a problemas en la zona a estudiar; estos problemas son resueltos con un correcto diseño de alcantarillado pluvial, contemplando todos los parámetros necesarios tales como: elevaciones, afluentes, microcuencas, áreas tributarias, además de una correcta selección de datos, diámetros, pendientes y colocación de tragantes y tuberías.

Se pretende diseñar una propuesta de diseño pluvial para el proyecto Nueva Esperanza utilizando la normativa vigente, y comparar dicha metodología de diseño contra el análisis en flujo no permanente mediante el modelo numérico *Storm Water Management Model*. Este diseño se realizará utilizando el método racional y dimensionamiento de colectores en flujo uniforme para luego ser analizado mediante el programa *SWMM*.

Este proyecto termina con la optimización de la propuesta de diseño para mejorar en la medida de lo posible el presupuesto y construcción del alcantarillado pluvial.

Abstract

The urban growth in the city has caused an increase in the waterproofing of the soils, due to the construction of different structures such as bearing surfaces and roof structures, thus causing alterations in the times of the rained waters, times of infiltration, seepage areas and runoff coefficients.

Consequently, precipitated water evacuation systems arise to avoid erosion, flooding, damage to structures, and the environment, which is why the need arises to intervene as an improvement in the Nueva Esperanza project, it does not have a system of storm sewer system that takes into account the specific needs of the project, for this reason it is extremely important to create an optimal design that meets the requirements to ensure the needs of the population, their physical and material safety, in addition to the project as such.

In answer to this, a storm sewer design and final disposal of rainwater is proposed. Said design that provides solutions to problems in the area to be studied; this problems are solved with a correct storm sewer design, considering all the necessary parameters such as: elevations, tributaries, micro-basins, tributary areas, as well as a correct selection of data, diameters, slopes and placement of gutters and pipes.

It is intended to design a stormwater design proposal for the Nueva Esperanza project using current regulations and codes, and compare said design methodology against non-permanent flow analysis using the *Storm Water Management Model* numerical model. This design will be carried out using the rational method and sizing of collectors in uniform flow to later be analyzed using the *SWMM* program.

This project ends with the optimization of the design proposal to improve the budget and construction of the storm sewer as much as possible.

Contenido

1.	PROBLEMA Y PROPÓSITO	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	2
1.2.	Planteamiento del problema.....	5
1.3.	Objetivos de la investigación	7
1.3.1.	Objetivo general	7
1.3.2.	Objetivos específicos.....	7
1.4.	Alcances de la investigación	7
1.5.	Limitaciones de la investigación	8
1.6.	Justificación.....	8
1.6.1.	Importancia de la solución	8
1.6.2.	Actualidad de la solución.....	8
1.6.3.	Beneficiados	9
1.6.4.	Aportes teóricos y prácticos nuevos	9
1.6.5.	En resumen	10
1.7.	Impacto.....	10
2.	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
2.1.	Marco teórico-conceptual y técnico-referencial	13
2.1.1.	Marco legal.....	13
2.2.	Marco técnico	13
2.2.1.	Conceptos hidrológicos básicos	13
2.2.2.	Alcantarillado pluvial y sus componentes	16
2.2.3.	Terminología.....	18
2.3.	Caudales máximos.....	23
2.4.	Método racional.....	23
2.4.1.	Área tributaria	23

2.4.2.	Caudal	23
2.4.3.	Caudal de diseño.....	24
2.4.4.	Caudal base	24
2.4.5.	Caudal total	24
2.4.6.	Caudal máximo.....	24
2.4.7.	Coeficiente de escorrentía.....	24
2.4.8.	Coeficiente de retardo de Kerby	27
2.4.9.	Coeficiente de rugosidad de Manning	27
2.4.10.	Fuerza tractiva.....	28
2.4.11.	Intensidad de precipitación	28
2.4.12.	Número de Froude	30
2.4.13.	Pendiente de la tubería	30
2.4.14.	Periodo de retorno	30
2.4.15.	Radio hidráulico.....	31
2.4.16.	Tiempo de concentración	31
2.4.17.	Tirante hidráulico	31
2.4.18.	Relaciones hidráulicas.....	31
2.5.	Reglamentación técnica para el diseño de alcantarillados pluviales	34
2.6.	Análisis de alcantarillado pluvial: SWMM	37
3.	MARCO METODOLÓGICO	38
3.1.	Marco metodológico	39
3.1.1.	Paradigma	39
3.1.2.	Dimensión temporal.....	40
3.1.3.	Enfoque metodológico	40
3.1.4.	Métodos de investigación	40
3.2.	Las técnicas e instrumentos para recolectar información:.....	41

3.2.1. Las herramientas tecnológicas computacionales:	42
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	44
4.1.1. Procedimiento.....	44
4.1.2. Ubicación de tragantes y pozos pluviales.....	45
4.1.3. Elevación de pozos pluviales.....	46
4.1.4. Análisis de las áreas tributarias	46
4.1.5. Aplicación del Método racional	48
4.1.6. Perfiles longitudinales.....	50
4.1.7. Desfogue final.....	50
4.1.8. Simulación en <i>SWMM</i>	53
5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE ESTUDIO	55
5.1. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	56
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
6.1.1. Conclusiones.....	58
6.1.2. Recomendaciones.....	59
7. BIBLIOGRAFÍA.....	60
8. ANEXO 1 SISTEMA PLUVIAL: TOPOGRAFÍA (CONTENIDO MÍNIMO DE INFORMACIÓN).....	63
9. ANEXO 2 SISTEMA PLUVIAL: ANÁLISIS EN PROGRAMA <i>SWMM</i> (CONTENIDO MÍNIMO DE INFORMACIÓN).....	64
10. ANEXO 3 SISTEMA PLUVIAL: DETALLES DE PLANOS CONSTRUCTIVOS	67

11. ANEXO 4 SISTEMA PLUVIAL: MEMORIA DE CALCULO HOJA DE DISEÑO.....	79
12. ANEXO 5 SISTEMA PLUVIAL: PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL PROYECTO	83

Índice de tablas

Tabla 1. Diámetro de pozo según profundidad	21
Tabla 2. Cantidad de tubos interconectados al pozo según su diámetro	21
Tabla 3. Coeficiente de escorrentía	26
Tabla 4. Coeficiente de retardo.....	27
Tabla 5. Coeficiente rugosidad de Manning.....	28
Tabla 6. Intensidades de precipitación estación Santa Rosa.....	29
Tabla 7. Diseño del ramal 2	48
Tabla 8. Diseño del ramal 2	49
Tabla 9. Dimensiones, acero de refuerzo y tabla de cantidades de concreto para cabezal de alcantarilla simple.....	51
Tabla 10. Dimensiones, acero de refuerzo y tabla de cantidades de concreto de aletones para cabezal de concreto.....	52
Tabla 11. Análisis de caudales y velocidades del ramal 2-tubería 1.....	54

Índice de figuras

Figura 1. Ciclo hidrológico	15
Figura 2. Intensidad en función del tiempo. Fuente: Vahrson y Dercksen (1990).	29
Figura 3. Propiedades hidráulicas de la sección circular	33
Figura 4. Zona de estudio	39
Figura 5. Ubicación de pozos en el tramo del ramal 2.....	46
Figura 6. Área tributaria del pozo P1-1	47
Figura 7. Perfil longitudinal ramal 1.....	50
Figura 8. Cabezal para alcantarilla de tubería simple	51
Figura 9. Cabezal y aletones para alcantarilla de tubería simple	52
Figura 10. Perfil longitudinal SWMM ramal 2.....	53
Figura 11. Contenido mínimo de información de ramal 2	63
Figura 12. Contenido mínimo de información de ramal 1	63
Figura 13. Gráfica de caudal a través del tiempo para ramal 1.....	64
Figura 14. Gráfica de caudal a través del tiempo para ramal 2.....	65
Figura 15. Gráfica de velocidad a través del tiempo para ramal 1	65
Figura 16. Gráfica de velocidad a través del tiempo para ramal 2.....	66
Figura 17. Perfil longitudinal de avenida 2	67
Figura 18. Perfil longitudinal de calle pública	68
Figura 19. Perfil longitudinal de avenida 1	69
Figura 20. Perfil longitudinal de calle 1	70
Figura 21. Detalle de tragante pluvial sección Q-Q.....	71
Figura 22. Detalle en planta de tragante pluvial.....	72
Figura 23. Detalle de tragante pluvial sección R-R	73
Figura 24. Detalle de viga tipo “A” para tragante pluvial	74
Figura 25. Detalle de viga tipo “C” para tragante pluvial	74
Figura 26. Detalle de tapa invertida para pozo pluvial	75
Figura 27. Sección de marco de asiento para pozo pluvial.....	75
Figura 28. Tapa para pozo pluvial.....	76
Figura 29. Detalle de ranura en tapa para pozo pluvial	77

Figura 30. Detalle de cabezal de concreto para desfogues al rio	78
Figura 31. Hoja de calculo "Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz"para diseño del sistema.....	79
Figura 31. Hoja de calculo "Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz"para diseño del sistema.....	80
Figura 31. Hoja de calculo "Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz"para diseño del sistema.....	81
Figura 31. Hoja de calculo "Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz"para diseño del sistema.....	82

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1. INTRODUCCIÓN

Al establecerse las primeras civilizaciones en el mundo, el ser humano inicia el aprovechamiento tanto de las aguas superficiales como las pluviales, asimismo domestica la agricultura y con ello los cultivos que encuentran una primera aplicación del agua de lluvia. Al crecer tanto en población como demográficamente, este desarrolla nuevas formas para la captación de agua de lluvias.

San Martín (1998) menciona que los primeros en filosofar sobre la hidrología fueron los griegos, especialmente en los procesos de generación de aguas superficiales y demás fenómenos relacionados con la ocurrencia del agua. Aun cuando la historia hace referencia a una serie de proyectos hidráulicos de envergadura, como una antigua presa en el río Nilo, un canal de conducción de agua para abastecer la ciudad de El Cairo, los famosos acueductos griegos y romanos, los sistemas de irrigación de la cultura china e inclusive en Costa Rica, el sistema de conducción y almacenamiento de agua en Guayabo, el conocimiento de la hidrología era vago y sumamente errático. A manera de ejemplo tenemos el caso de la cultura griega y la romana posterior, las cuales coincidían en que los océanos eran la última etapa del agua en la tierra; sin embargo, no concebían que la precipitación pudiese igualar o exceder al escurrimiento superficial, por ello desconocían por completo el concepto actual de ciclo hidrológico.

A través de la historia se han utilizado diferentes métodos para la captación de agua pluvial, como por ejemplo el desierto de Jordania e Israel, con sistemas de captación de agua de aproximadamente 4000 años o más, que consistían en un desmonte de las zonas altas para un aumento de la escorrentía superficial; con ello el agua era dirigida hacia las zonas más bajas. En China existen pozos para la captación de agua hace más de 200 años. En la ciudad de Roma las viviendas tenían un espacio a cielo abierto con un tanque para recoger agua de lluvia, como se explica en el documento *Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia* lanzado en el 2006.

Por otra parte, Solórzano en el 2009, en su escrito *América antigua de los pueblos precolombinos desde el poblamiento original hasta los inicios de la conquista española* hace referencia a Centroamérica con el Imperio Maya que utilizó diferentes mecanismos

no solo para el aprovechamiento de este recurso hídrico, sino también con la necesidad de transportar dicha agua para mejorar las condiciones de vida.

Con base en la distribución de la sociedad, la captación de agua de lluvia en el mundo y el uso continuo de estas obras se infiere que los sistemas de captación de agua de lluvia cumplen un papel importante en la producción, además de una búsqueda por satisfacer las necesidades de la población.

Por este motivo surgen diseños y tesis como las mencionadas a continuación: Jose Francisco Ovalle Morales en el 2013, con un diseño del sistema de alcantarillado separativo para la aldea Sacoj Grande en Mixco, Guatemala. En la Universidad La Gran Colombia, los estudiantes Arnol Stiven Garzón Rojas y José Jefferson Aguirre Barrera, en el 2016, optaron por el título de Licenciatura en Ingeniería civil con un estudio para la optimización de los sistemas de alcantarillado de aguas residuales y aguas de lluvia en la cabecera municipal de La Vega (Cundinamarca). En la Universidad Latina de Costa Rica en el 2020, el estudiante Gustavo Gómez Solís realizó un trabajo final de graduación titulado “Uso de lagunas de retardo en sistemas pluviales urbanos”. En el 2015, con el proyecto de graduación titulado “Análisis y mejoramiento del sistema de evacuación de aguas pluviales para el distrito de Cot de Oreamuno de Cartago”, el autor Juan Diego Miranda Matarrita optó por el título de Licenciatura en Ingeniería civil.

Haciendo referencia al trabajo de Juan Diego Miranda Matarrita, dicho trabajo propone diseñar hidráulicamente las estructuras de un sistema de evacuación de aguas pluviales para el distrito de Cot en el cantón de Oreamuno, debido a la problemática de una deficiente gestión de las aguas pluviales y múltiples factores que han ido intensificando las consecuencias producidas por las inundaciones y desbordamiento de aguas pluviales en la época húmeda, lo cual se ocasiona (como se menciona en el informe) por factores de crecimiento poblacional acelerado que provoca cambios en el uso del suelo para el desarrollo de la vida, tal motivo crea obras o acciones para mitigar los efectos adversos mediante la construcción de estructuras, como por ejemplo los alcantarillados pluviales. El proceso de diseño de las redes de drenaje se hizo utilizando el método racional también empleado en la presente propuesta de diseño a realizar en

este proyecto, así como el dimensionamiento de los colectores en flujo uniforme. Miranda Matarrita, a modo de resumen, plantea que “el proceso de diseño mediante flujo uniforme, utilizando como modelo de precipitación-escorrentía el método racional y su posterior análisis en flujo no permanente para 10 y 25 años de periodo de retorno, utilizando el modelo numérico *SWMM*, permitió la disminución de los diámetros de los colectores diseñados inicialmente, con lo cual se hicieron dos mejoras para el diseño inicial, una para 10 años de periodo de retorno y otra para 25 años” (Miranda, J. 2015).

En mención a los autores Arnol Stiven Garzón Rojas y José Jefferson Aguirre Barrera, con un estudio para la optimización de los sistemas de alcantarillado de aguas residuales y aguas de lluvia en la cabecera municipal de La Vega (Cundinamarca), en dicho trabajo el objetivo de la investigación estuvo orientado al sistema de alcantarillado como tal, tanto a conocer como analizar los problemas, toda situación u objeto de estudio a realizar en búsqueda de una respuesta hacia aquellos problemas que no se solucionaban con facilidad, además de conocer las condiciones existentes de calidad, cobertura, infraestructura para el manejo de aguas de lluvia en dicho municipio. Dicho trabajo identifica la problemática del sistema de evacuación de aguas pluviales ya que no cuenta con el sistema de alcantarillado básico completo y algunos sectores carecen de alguna solución en relación con otros pueblos e involucra el conocimiento de normas que regulan los sistemas de alcantarillado en dicho país, tanto documentos, informes, planos e información de las entidades involucradas o que manejan el tema. Además, debido a que la planta de tratamiento no se encuentra en constante actividad y permanece gran parte de tiempo sin funcionar, las aguas que se captan allí se dirigen hacia las fuentes de agua superficiales sin haber pasado por ninguno de los procesos de tratamiento de aguas residuales necesarios para la descontaminación de éstas. Dichos autores mencionan que “el alcance del trabajo es dar un documento base que sirva tanto a la comunidad académica, como a la población del municipio, que genere comprensión y conciencia de la magnitud del sistema de alcantarillado que posee el municipio de La Vega, así mismo se proponen mejoras para las necesidades de la población” (Garzón, A & Aguirre, J. 2016). Tal investigación tiene como finalidad el estudio de la optimización del alcantarillado de aguas residuales y llovidas, con el fin de ayudar a reducir al máximo

los riesgos que se puedan presentar a futuro tanto de salud, infraestructura y el medio ambiente.

1.2. Planteamiento del problema

La precipitación, al igual que la temperatura, son los elementos climáticos que más influyen sobre la naturaleza y su modelado. Su distribución temporal y espacial condiciona los ciclos agrícolas y forestales, así como el desarrollo de las principales especies vegetales y animales. Esta variable también influye notoriamente sobre otros rubros de la economía y la correspondiente producción de bienes y servicios, especialmente cuando es escasa (Araya & Sanabria. 2010).

Una de las características más sobresalientes de la precipitación en los trópicos es su gran variabilidad en tiempo y espacio. En Costa Rica, por ejemplo, una de las zonas más lluviosas es la falda noreste de la Cordillera de Talamanca, a menos de 30 km de distancia de una de las zonas con menor cantidad de lluvia del país y que se encuentra en el valle del Guarco de Cartago (Castro et al. 1985 citado por Araya. 2010).

Se sabe que Costa Rica posee características tropicales, así como microclimas. Durante la estación lluviosa o el invierno que tarda 6 meses, se presenta gran cantidad de lluvias promedio diarias que pueden llegar hasta un máximo de 10 mm según el Instituto Meteorológico Nacional.

Debido a que la topografía del país es extremadamente divergente en un territorio bastante pequeño, la cantidad de agua recibida durante esta época genera que en ocasiones el país se enfrente a desafíos que afectan a un porcentaje de la población, como es el caso de las inundaciones por lluvias constantes.

Según el INEC (2014), el cantón de La Cruz, Guanacaste cuenta con una población total proyectada que va del año 2011 con 22 644 habitantes hasta el año 2025 con 29 512 habitantes. Nótese que con el aumento de la población la proyección de construcciones también aumenta, lo cual sumado a las lluvias habituales trae consigo

diversos desafíos a los vecinos de La Cruz de Guanacaste; por lo que surge así la necesidad de intervenir con el desarrollo de un plan de contingencia para mejorar las condiciones de vida de los habitantes.

Por este motivo, el tema de diseñar y optimizar una red pluvial que cuente con los parámetros correspondientes para canalizar las aguas y velar por las necesidades de la población es de suma importancia y beneficio. Un colapso de la propuesta de diseño, la inhabilitación o destrucción de esta red podría tener un impacto negativo sobre la población, salud pública, seguridad, actividad económica y el medio ambiente. Por ende, para dicha situación que afectaría el funcionamiento es de suma importancia la ejecución de medidas apropiadas de diseño y construcción preventivas para velar por la seguridad de los habitantes e involucrados, con ello se pretende garantizar no solo el bienestar de la población y el medio ambiente, sino un adecuado funcionamiento de sus sistemas, así como prevenir que las fuertes lluvias acaben colapsando los sistemas que existen actualmente.

Con ello se generan preguntas como: ¿el proyecto podría verse afectado sin una oportuna y eficiente intervención?, ¿será que únicamente con nuestra propuesta se cumple con las necesidades de la población o será necesario intervenir de otras formas? Nótese como estas preguntas podrían dar nuevas incógnitas a lo largo de la investigación y a su vez ir dándole un rumbo.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Crear una propuesta de diseño pluvial para el proyecto Nueva Esperanza, La Cruz, Guanacaste.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recopilar información hidrológica relacionada con el proyecto Nueva Esperanza en La Cruz de Guanacaste.
- Utilizar la norma actual vigente como lo es la norma técnica para el diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial, además del programa *SWMM* como software para el diseño pluvial.
- Calcular el diámetro de la alcantarilla requerida para el caudal que se va a recoger.
- Simular el comportamiento de la alcantarilla mediante el análisis de la capacidad del sistema.
- Diseñar los planos de construcción.

1.4. Alcances de la investigación

- Diseñar un alcantarillado pluvial para los vecinos de Nueva Esperanza.
- Incluir el estudio de la zona a intervenir, diseño del sistema de alcantarillado, y cálculos en general de la obra civil considerando como mínimo información relacionada como topografía e hidrología.
- Comprender las características del sistema, área de captación, conducción y distribución del agua de lluvia.
- Realizar los planos constructivos de la propuesta de diseño.
- Simular el diseño realizado en el programa *SWMM* para ver su comportamiento y comparar dichos resultados con los datos de las hojas de cálculo utilizadas en el diseño.

1.5. Limitaciones de la investigación

- El ente, en este caso la Constructora e Inmobiliaria SyN SA, suministra un levantamiento topográfico.
- Los datos serán tomados de estudios pluviales realizados por los profesionales Vahrson y Dercksen en zonas aledañas del proyecto a estudiar. De no localizar un estudio en el mismo punto o similar, se utilizarán zonas cercanas además de asumir que éstas presentan las mismas condiciones que la zona de estudio.
- Para el caso del escurrimiento pluvial se considerará una tormenta de diseño con intensidad, duración y frecuencia constantes y uniformes respecto a la cuenta en la que se encuentre el proyecto.
- Este proyecto solo se limitará a una propuesta de diseño, por lo que no integra el presupuesto de la obra.

1.6. Justificación

1.6.1. Importancia de la solución

El control de inundaciones es una medida de precaución necesaria para garantizar que los daños causados por las inundaciones se mantengan al mínimo. Además, evita cualquier desarrollo o urbanización en planicies de inundación inseguras y protege la vida y la propiedad de quienes residen en planicies de inundación. Por tal motivo es importante el diseño del alcantarillado pluvial para dar respuesta a problemas actuales y futuros como lo son: daños a la estructura del pavimento, colapso de tuberías e inundaciones.

1.6.2. Actualidad de la solución

En la actualidad el problema que se pretende resolver con el proyecto a realizar es debido a las inundaciones en la zona, ocasionadas en la época lluviosa, por lo que se deben contemplar características climáticas y topográficas del suelo para tener una

respuesta más precisa ante la escorrentía del suelo y con ello evitar posibles colapsos de éste y de las estructuras existentes o por construir.

1.6.3. Beneficiados

La Municipalidad de La Cruz se verá beneficiada al obtener una propuesta de solución al problema que afronta la comunidad.

El ente responsable del proyecto, en este caso la Constructora e Inmobiliaria SyN SA, recibirá la propuesta de diseño para con ello tomar decisiones respecto a la proposición generada.

Los habitantes de la zona del proyecto serán beneficiados ya que con el diseño se pretende eliminar el posible sufrimiento de estos debido a las inundaciones en este sector.

El Ministerio de Salud se verá beneficiado al verse solucionados problemas de aguas estancadas, las cuales son agentes importantes en los casos de proliferación de enfermedades.

1.6.4. Aportes teóricos y prácticos nuevos

Se entrega a la Municipalidad los planos de la propuesta de diseño del alcantarillado pluvial, que contiene tanto en planta como en perfil los tragantes, pozos de registro, profundidad y diámetros de tuberías de recolección y desfuegos, en búsqueda de aportar una posible propuesta y con esto la toma de decisiones y sus respectivas conclusiones.

1.6.5. En resumen

Dado que el diseño es para un proyecto de interés social y la zona a intervenir, en este caso Cuajiniquil, sufre de inundaciones, erosión y deslizamientos, surge la necesidad no solo de ejecutar sistemas eficientes respecto a la evacuación de agua pluvial sino también la búsqueda por dar vivienda digna a una serie de familias que sufren de estos problemas en sus casas y vecindario. Con este proyecto se busca realizar tanto un estudio como propuesta de diseño que beneficien a las entidades involucradas además de un sitio donde los vecinos del proyecto Nueva Esperanza puedan desarrollar sus vidas con armonía, paz y tranquilidad.

1.7. Impacto

Desde hace pocos años atrás, la sociedad creía en las doctrinas del crecimiento económico exponencial, pensando que los recursos naturales y las posibilidades o aportes de la Tierra eran ilimitados y con esto respaldaban el crecimiento tanto económico como poblacional. Debido a ello, hoy en día se elaboran acciones y estudios encaminados a determinar la viabilidad de ejecutar proyectos que faciliten la actividad del ser humano, marcando aspectos positivos y/o negativos para el medio ambiente y el ser humano.

Por tal motivo, la ejecución de proyectos civiles es un proceso que produce gran impacto, lo cual aumenta la responsabilidad al evaluar los impactos que genera la creación, en este caso, de un sistema de alcantarillado pluvial, que a su vez resalta la importancia en la ejecución de estos proyectos y que los mismos sean óptimos y eficaces en cuanto a las funciones para las cuales fueron diseñados y/o construidos.

Por ende, este proyecto proporciona un diseño en búsqueda de la prevención en sitios de riesgo del proyecto Nueva Esperanza en La Cruz de Guanacaste en caso de una inundación y/o algún otro motivo que se desconozca y afecte el diario vivir de la comunidad.

Con una propuesta de diseño para esta red pluvial se busca alcanzar un esfuerzo para mejorar las condiciones de vida de todos los nuevos habitantes de este proyecto y

zona, ya que contar con un diseño pluvial promueve no solo el desarrollo de la población, sino también ayuda en el tema de la salud pública contribuyendo en la lucha contra enfermedades que impactan directa o indirectamente los habitantes de estas zonas.

Cabe resaltar que el añadir una memoria de cálculo detallada es vital para brindar información certera para que los interesados en el tema analicen dicho trabajo y con ello no solo proporcionen sus conclusiones, sino que puedan tomar una decisión respecto al diseño y/o construcción a futuro de dicho sistema de alcantarillado pluvial.

Toda información así como cálculos obtenidos en diferentes programas darán una propuesta de diseño a fin de proporcionar una herramienta útil para que los interesados sean capaces de tomar una decisión y la mejor acción al respecto en búsqueda de un beneficio no solo para prevenir afectaciones económicas y pérdidas de vidas humanas sino para una mejor calidad de vida de todos los habitantes.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Marco teórico-conceptual y técnico-referencial

2.1.1. Marco legal

- Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017).

2.2. Marco técnico

2.2.1. Conceptos hidrológicos básicos

El agua es una sustancia vital para la vida humana, está constituida por hidrógeno y oxígeno; dicha sustancia sin color, olor ni sabor forma los ríos, mares y lagos, se encuentra en la naturaleza en diferentes estados, además de abarcar las tres cuartas partes del planeta Tierra y formar parte de todos los seres vivos.

Otra definición expuesta en el libro de *Hidrología aplicada* por Ven Te Chow (1994) es: “El agua es la sustancia más abundante en la Tierra, es el principal constituyente de todos los seres vivos y es una fuerza importante que constantemente está cambiando la superficie terrestre”.

Como se mencionó anteriormente y en adición, se tiene claro y entiende que el agua es un elemento esencial para la vida, y sumado a ello el hombre la utiliza para satisfacer sus necesidades básicas y gran parte de sus actividades. Además interviene en la mayor parte de los procesos relacionados con la transformación de la superficie de la Tierra y del clima. El hombre no es ajeno a sus efectos en su entorno, pues ha experimentado tanto la abundancia como la escasez del agua. Así, desde tiempos pasados enfrenta las sequías, las tormentas, las crecientes de los ríos y las inundaciones. La búsqueda de su bienestar lo ha llevado al asentamiento en ciudades y poblados, hecho que lo ha obligado a desarrollar tecnologías que le permitan controlar el agua y disminuir los efectos de los fenómenos climáticos.

Al ser un elemento tan importante para la vida cotidiana claro está que es un tema de estudio, por lo que existe una ciencia que estudia todos los aspectos relacionados al agua, tales como su origen, propiedades, movimiento y su relación con el hombre, animales, plantas, suelos y climas. Esta ciencia es conocida como hidrología.

La hidrología es una ciencia que trata de los procesos físicos del agua, de su circulación, ocurrencia, almacenamiento y cambios de estado y de las interacciones entre el agua y el ambiente, incluyendo aquí al hombre. El dominio de la hidrología es amplio e incluye aspectos de otros segmentos de la ciencia, como la geología, la meteorología, la oceanografía, por ello resulta imposible trazar límites precisos, lo cual no debe preocupar por no tener ningún propósito el delimitar su campo de acción.

Su objetivo es obtener parámetros de diseño básicos para abordar diferentes estudios y obras relativos a la Ingeniería civil. Es de suma importancia, aunque no parezca o no se hable al respecto, toda construcción, ya sea habitacional o industrial, todo proceso de urbanización, toda obra civil de vías terrestres tales como puentes, carreteras, autopistas, todo fraccionamiento, colonias, etc. Cualquier edificio complejo como un campus universitario, un estadio, un gimnasio de usos múltiples, etc., requiere diseños por estudios hidrológicos. Conocer las posibilidades y el comportamiento de las precipitaciones meteorológicas de la zona es sumamente necesario para evitar inundaciones (desde sencillas hasta graves) y para evaluar la necesidad de elementos de drenaje como un puente, un borde de contención, un canal, etc.

La hidrología al ser una ciencia básica no se limita a la interpretación de datos, sino que abarca una serie de conceptos de diseño y operación de proyectos físicos de ingeniería. Es así como se presenta como un componente fundamental en todo proyecto que involucre al agua, sea para su control, aprovechamiento o distribución con fines benéficos.

Todas las fases del agua en la Tierra son de gran importancia para el ser humano y el medio ambiente, por lo que existen prácticas tanto de aprovechamiento como de conducción y disposición final de aguas, tales como: diseño de estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua, sistemas de tratamiento de aguas, sistemas de irrigación, generación de energía hidroeléctrica, controles de calidad del agua, protección de vida acuática y sistemas de evacuación de agua pluvial tal como en el presente documento.

Estas diferentes fases del agua crean lo que conocemos como ciclo hidrológico, el cual no tiene principio ni fin y como su nombre lo dice, es un proceso cíclico en el cual sus etapas o fases se repiten. Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre, ríos, lagos y mares, se evapora debido al efecto de la radiación solar y el viento. Al evaporarse es transportada por el viento y aire en

movimiento. Una vez transportada bajo ciertas condiciones, el vapor se condensa y forma las nubes, dichas nubes al concentrarse en algunas ocasiones crean lluvias que caen a la Tierra. En su ruta hacia la superficie de la Tierra, el agua llovida puede evaporarse o ser interceptada tanto por plantas como construcciones, luego se filtra hasta depósitos subterráneos y crea un porcentaje de humedad en el suelo; si no fuese el caso, entonces fluye por la superficie hasta ríos, mares y lagos (Villon. 2004. p.18).

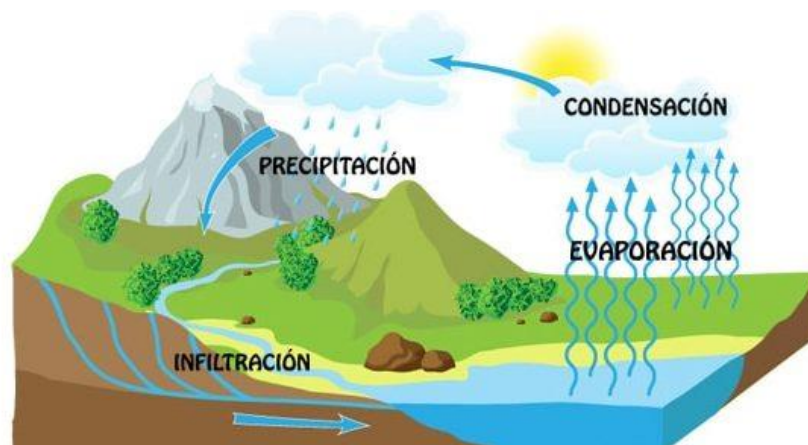


Figura 1. Ciclo hidrológico

Fuente: Sociedad geográfica de Lima (2011)

La precipitación es un cambio en la forma de humedad que se origina en las nubes para allí transformarse en líquido y por efectos de concentración y peso debido a la gravedad es atraída hacia la superficie acuática o terrestre. La precipitación se puede considerar como el aporte más significativo del agua al ciclo hidrológico. Las formas en que ocurre son variadas, dependiendo de las condiciones climáticas imperantes en el medio donde se registra; entre estas formas tenemos la lluvia y variantes de estas como son la garúa. Estos tipos de precipitaciones traen consigo problemas relacionados a la vida humana o a la naturaleza, por ejemplo, la inundación, la cual consiste en el aumento atípico de los niveles del cauce de un río, lago u otro cuerpo receptor, cubriendo zonas con niveles altos de saturación o niveles freáticos altos.

Por otra parte, relacionado al tema tenemos la escorrentía que Agustín Breña Puyol (2006) la define “como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente

para ser drenada hasta la salida de una cuenca, o bien, alimentar un lago si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente”.

Por su parte, un evento frecuente en época lluviosa debido a las precipitaciones es el de las inundaciones. Se define como inundación a los desbordamientos o aumentos atípicos de los niveles del cauce de un río, lago u otro cuerpo receptor, los cuales cubren zonas o suelos que presentan niveles de saturación o niveles freáticos altos. Estas inundaciones pueden ser ocasionadas por el ser humano debido a su ignorancia ante la constante contaminación que como resultado satura las alcantarillas y la modificación generada en las cuencas o razones naturales debido al aumento de aguas concentradas en un mismo cauce producto de una tormenta y la saturación de los suelos.

2.2.2. Alcantarillado pluvial y sus componentes

En la mayoría de las ciudades se tiene la necesidad de desalojar el agua de lluvia para evitar que se inunden las viviendas, los comercios, las industrias y otras áreas de interés. Por otra parte, la construcción de edificios, casas, calles, estacionamientos y otros modifica el entorno natural en que habita el hombre, y tiene como algunas de sus tantas consecuencias la creación de superficies poco permeables (que favorecen la presencia de una mayor cantidad de agua sobre el terreno) y la eliminación de los cauces de las corrientes naturales (lo cual reduce la capacidad de desalojo de las aguas pluviales y residuales). Así, la urbanización incrementa los volúmenes de agua de lluvia que escurren superficialmente debido a la impermeabilidad de las superficies de concreto y pavimento. Por ello, las conducciones artificiales para evacuar el agua son diseñadas con mayor capacidad que la que tienen las corrientes naturales existentes. Los sistemas de alcantarillado se encargan de conducir las aguas de desecho y pluviales captadas en los sitios de asentamiento de las conglomeraciones humanas para su disposición final.

Chow, Maidment y Mays (1994) mencionan que un sistema de drenaje urbano o alcantarillado pluvial típico consta de dos elementos principales, llamados elementos de localización y elementos de transferencia. Entiéndase por elementos de localización a lugares donde el agua es retenida y sufre cambios debido a procesos controlados por el ser humano, mientras que los elementos de transferencia conectan los elementos de localización, incluyendo así canales, tuberías de alcantarillado y calles. Por último, la

descarga del sistema se puede realizar a un cuerpo receptor como ríos, lagos y mares o almacenamientos artificiales como tanques de retención.

Según López (2003), un sistema de alcantarillado está compuesto por un conjunto de tuberías y obras complementarias, con la tarea de recibir y evacuar las aguas pluviales además de la escorrentía superficial resultado de la lluvia de una ciudad. Inicialmente el agua es captada por tragantes ubicados en el cordón para posteriormente entrar en el sistema de tuberías, teniendo en mente siempre que dichas tuberías amplían su sección, en este caso diámetro, conforme aumenta el área de drenaje para posteriormente tener una disposición final en un cuerpo receptor.

Otra definición del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para 'sistema pluvial' afirma que es el conjunto de líneas de tuberías o conductos (abiertos o cerrados) y obras accesorias que conducen las aguas provenientes de las precipitaciones hacia lugares naturales de disposición.

Los sistemas de recolección y evacuación de aguas pluviales deben proyectarse cuando las condiciones propias de drenaje de la localidad requieran una solución a la evacuación del escurrimiento pluvial. No necesariamente toda población o sector requiere un sistema pluvial. Dependiendo de las condiciones topográficas, el tamaño de la población, las características de las vías, la estructura y el desarrollo urbano, entre otras, la evacuación de las aguas pluviales debe lograrse satisfactoriamente a través de las cunetas de las calles. Donde sea necesario, estos sistemas deben abarcar la totalidad de la población o solamente los sectores con problemas de inundaciones.

El alcantarillado pluvial tiene como principal función manejar, controlar y conducir adecuadamente la escorrentía de las aguas de lluvia en una red o sistema separado de las aguas residuales y que su disposición final sea en sitios donde no provoque daños, problemas e inconvenientes a los habitantes de la zona.

Durante el diseño de una red de alcantarillado se pretende que los costos de construcción no sean elevados y, por otra parte, que la red sea funcional en aspectos relacionados con la operación y el mantenimiento de ésta.

En cuanto a los componentes principales de un sistema de alcantarillado pluvial según su función podemos mencionar los siguientes:

Estructuras de captación: Los cordones de caño recolectan las aguas a conducir en los sistemas de alcantarillado pluvial y las conducen a los tragantes.

Estructuras de conducción: Transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia sitios de tratamiento o vertido. Se forman con conductos cerrados o abiertos, llamados tuberías y canales, respectivamente.

Estructuras de conexión y mantenimiento: Facilitan la conexión y mantenimiento de los conductos que forman el sistema de alcantarillado. Permiten la conexión de varias tuberías de diferente diámetro y disponen del espacio suficiente para realizar mantenimiento e inspección de los conductos. Estas estructuras son conocidas como pozos pluviales.

Estructuras de cruce: Una estructura de cruce permite el paso de la tubería por debajo o sobre obstáculos que de una forma u otra impiden la construcción de una red de alcantarillado.

Disposición final: Si no se define con anterioridad a la construcción del proyecto el destino de las aguas, entonces pueden provocarse graves daños al medio ambiente y a la población o alguna zona cercana. Generalmente el punto de desfogue es un cauce.

Estructuras complementarias: Se considera que en casos específicos forman parte de un sistema de alcantarillado pluvial para solventar un problema determinado e importante para el correcto funcionamiento del sistema. Algunos componentes son las plantas de bombeo y tratamiento, disipadores de energía.

Estaciones de bombeo: La necesidad de contar con una red de bombeo es debido a la incapacidad del sistema para transportar el agua de lluvia por gravedad en un sistema. Condiciones generales técnicas y económicas determinarán la ubicación, tamaño y uso de la estación de bombeo.

2.2.3. Terminología

Alcantarilla: Es un conducto subterráneo para conducir aguas residuales o pluviales.

Según Pérez Carmona (2014), las alcantarillas son estructuras de evacuación de las aguas de escorrentía, por lo general, un conducto que cruza por debajo de la vía, por ello su sección geométrica puede ser rectangular, cuadrada o circular, como se aprecia más comúnmente.

Aletones: Estructura de concreto reforzado. Es el muro lateral para soportar la estructura central del cabezal y a la vez funciona como muro de retención para estabilizar los terraplenes laterales a la estructura del cabezal.

Área hidráulica: Es el área de la sección del flujo perpendicular a la dirección del flujo.

Cabezal: Es una estructura de concreto reforzado. Se define como un muro de entrada y salida de las tuberías; su función es encauzar las aguas y proteger los taludes.

Tragante: Cámara de mampostería de piedra u hormigón que recibe las aguas pluviales captadas por la rejilla de la boca de tormenta.

Pozo de registro: Cámara de mampostería de piedra o concreto que une los diferentes tramos de colectores o recibe las tuberías de conexión de las bocas de tormenta.

Captación: Función de una estructura que permite la entrada de las aguas hacia el sistema de alcantarillado pluvial.

Caudal del proyecto: Es el máximo caudal que ocurriría bajo las condiciones físicas de la cuenca de drenaje, debido a una lluvia de una frecuencia dada y varias duraciones, incluyendo la contribución freática.

Cordón de acera: Estructura de concreto u hormigón destinada a separar la calzada de la acera, conformando de esta manera la cuneta longitudinalmente.

Colector: Conducto destinado a transportar las aguas pluviales desde el punto de captación hasta la disposición final. Puede tener sección transversal circular, rectangular, oval u otra forma.

Cuneta: Canal de sección triangular que se forma entre el cordón y la calzada, destinada a conducir las aguas superficiales hacia las bocas de tormenta.

Curvas de nivel: Representaciones gráficas de las altitudes de un sitio generadas a partir de un levantamiento topográfico.

Erosión fluvial: Se entiende como el desgaste de la superficie de las cuencas por motivos de agua fluvial sumado a sedimentos y materiales orgánicos e inorgánicos que son arrastrados y desgastan el terreno modificando la geometría de éste y el relieve del mismo.

Intensidad máxima de lluvia: Se define como la razón de incremento máxima de la altura que alcanza la lluvia con respecto al tiempo.

Infiltración: Proceso mediante el cual las aguas fluviales o de otro tipo entran en las capas inferiores del terreno, tomando en consideración que los tipos de suelos presentan características y propiedades diferentes sumado al nivel freático que satura más el suelo.

Levantamiento topográfico: Consiste en tomar puntos los cuales estén referenciados a otro punto como inicial o punto de amarre, los cuales buscan transcribir las condiciones reales del terreno en un modelo o lista de coordenadas. Conforme más continua sea la toma

de datos, mayor precisión se tendrá en la información y con ello la generación de las curvas de nivel.

Pendiente: Es una característica de la topografía, la cual se puede representar y leer mediante curvas de nivel de cartas topográficas y estas definen las velocidades del agua y un recurso importante para estudiar el comportamiento hidráulico de una cuenca en estudio.

Pendiente de tubería: Es la inclinación que tiene el conducto con respecto a su eje longitudinal con el fin de que la precipitación circule a través del sistema pluvial.

Perímetro mojado: Es el contorno del canal que está en contacto con el agua. En un tubo, trabajando a sección llena, el perímetro mojado coincide con la circunferencia interior del tubo.

Pozo pluvial: Son cámaras verticales que permiten el acceso a las alcantarillas y colectores para facilitar su mantenimiento. Según A y A (2017), son de concreto y su forma debe ser cilíndrica con un diámetro interno no menor a 1.20 m. Para tener acceso al pozo se construyen peldaños de varilla de acero # 6.

Se deben construir pozos en inicios o intersecciones de tuberías, también en los cambios de dirección horizontal o vertical, diámetro, pendiente y material de la tubería, además en los tramos rectos, de tal forma que la distancia entre dos pozos pluviales consecutivos en vías públicas no exceda los 120 metros.

El diámetro de los pozos depende de la profundidad de colocación de la tubería y del número de conexiones que exista en el pozo.

Tabla 1. Diámetro de pozo según profundidad

Diámetro interno del pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Espesor de pared del pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/cm ²)
1,2	hasta 5,0	0,12	210
1,6	más de 5,0 hasta 8,0	0,12	280
1,8	más de 8,0 hasta 10,0	0,20	280
2,00	más de 10,0 hasta 15,0	0,20	280

Fuente: AyA (2017)

Los pozos pluviales pueden tener varias entradas de caudal, sin embargo, solamente deben tener una única salida. El diámetro del pozo, además de la profundidad y cantidad de conexiones, también depende del diámetro de las conexiones interconectadas al mismo.

A continuación se muestra en la tabla 2 el diámetro interno del pozo según la cantidad de conexiones y diámetro de tuberías:

Tabla 2. Cantidad de tubos interconectados al pozo según su diámetro

Diámetro interno del pozo (m)	Cantidad de tubos interconectados al pozo	Rangos de diámetros de las tuberías (mm)
1,2	5	De 400 hasta 800 (inclusive)
1,6	5	más de 800 hasta 1200 (inclusive)
2,0	5	más de 1200 hasta 1800 (inclusive)

Fuente: AyA (2017)

Tiempo de concentración: Tiempo en minutos que tarda la gota teórica de agua para ir del punto más alejado de la cuenca de drenaje hasta el punto de concentración considerado. Es la suma de los tiempos de entrada y de trayecto en las alcantarillas.

Tiempo de entrada: Tiempo en minutos que tarda la gota teórica de agua para alcanzar la extremidad superior del colector.

Tiempo de trayecto: Tiempo en minutos que tarda la gota teórica de agua desde la entrada de la misma en una sección considerada hasta otra sección. Este tiempo debe ser rigurosamente calculado tomando la velocidad media de flujo en la alcantarilla.

Tragantes: Los tragantes son estructuras que recolectan la escorrentía superficial, son colocados en puntos estratégicos, como puntos bajos del terreno y a cierta distancia entre calles.

Tuberías: Las tuberías pluviales son conductos de forma cilíndrica y huecas por sus extremos que conducen agua debido a las precipitaciones. Pueden diseñarse en materiales como concreto, plástico (PVC) y acero.

Las tuberías se diseñan por gravedad y como conductos circulares en escurrimiento libre. En su diseño se utilizan las fórmulas hidráulicas de canal abierto y la ecuación de Manning y los valores para la “n” de Manning son los que se indican en la tabla 5 del presente documento.

El diámetro nominal mínimo de la tubería recolectora de pozo a pozo debe ser de 400mm si se utiliza tubería de polietileno de alta densidad o tubería de concreto. Estas tuberías se deben ubicar por los costados sur de las avenidas y este de las calles, en la línea del centro entre las líneas de alcantarillado sanitario y cordón de caño.

El artículo 6.3.5 de A y A (2017) indica que “las tuberías que unen los tragantes con los pozos pluviales deben tener un diámetro nominal mínimo de 300 mm, cuando sean tragantes de una sola parrilla, aceptándose estos únicamente al inicio del sistema, para el caso de tragantes de dos o tres parrillas, la tubería debe tener como mínimo un diámetro de 400 mm”.

2.3. Caudales máximos

El caudal máximo que pueda evacuar una alcantarilla no puede exceder los $15\text{m}^3/\text{s}$. En Costa Rica se utiliza el Método racional para la estimación del caudal de diseño o caudal en un sistema de alcantarillado pluvial. Éste es un método empírico, sus variables dependen de observaciones, registros de precipitación en un punto específico, suposiciones del comportamiento de la lluvia y suposiciones asociadas a la cuenca que podrían generar cierta incertidumbre.

2.4. Método racional

Manuel Gómez Valerín (2017) dice que “de un modo particular en el método racional el coeficiente de escorrentía puede expresarse como la relación entre las intensidades medias de la lluvia efectiva y total, también como el caudal máximo por unidad de área y por unidad de intensidad media de lluvia total”.

Otro significado expuesto acerca del Método racional es explicado por Villón (2004) de la siguiente manera: “El uso de este método tiene una antigüedad de más de 100 años, se ha generalizado en todo el mundo y es el más empleado”. El método puede ser aplicado a pequeñas cuencas que no excedan 1300 Ha ó 13 Km^2 .

2.4.1. Área tributaria

Ven Te Chow (1994) la define como “área que puede determinarse en mapas topográficos, o mediante trabajos topográficos de campo cuando los datos topográficos han cambiado o cuando el intervalo entre las líneas de nivel en los mapas es demasiado grande para distinguir la dirección del flujo”.

2.4.2. Caudal

El *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias* (2017) hace referencia al caudal como “volumen de líquido o fluido que pasa por una sección de una tubería por unidad de tiempo”. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

2.4.3. Caudal de diseño

Caudal que se selecciona para diseñar un canal o alcantarilla. Se calcula a partir de la forma y tamaño de la cuenca, la longitud y pendiente del tipo y uso de suelo. También depende de la precipitación pluviométrica o tormenta de diseño. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

2.4.4. Caudal base

El caudal base es aportado por las reservas de una cuenca, que se mantiene constante, fuera de periodos de lluvia. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

2.4.5. Caudal total

El caudal total es la suma del caudal base y el caudal excedente que se genera por las lluvias. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

2.4.6. Caudal máximo

Es el caudal que se genera a partir de una precipitación, la cual presenta una intensidad máxima dentro de un área determinada. Se expresa en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

$$Q = \frac{C * I * A}{360} \quad \text{Ecuación (1,0)}$$

En donde:

- C: Es el coeficiente de escorrentía que relaciona la tasa de precipitación con el caudal máximo para una cuenca.
- I: Es la tasa de precipitación máxima para un período de retorno y un tiempo de concentración (mm/hr).
- A: Es el área de la cuenca o zona de drenaje (Ha).

2.4.7. Coeficiente de escorrentía

No toda el agua de lluvia precipitada llega al sistema de alcantarillado: una parte se pierde por factores como evaporación, intercepción vegetal, detención superficial y por infiltración. La determinación de este coeficiente es de suma dificultad ya que existen hechos que hacen que su valor varíe respecto al tiempo.

Es la variable con menor precisión del Método racional. Su uso en la fórmula implica una relación entre la tasa de escorrentía pico y la tasa de lluvia para la cuenca de drenaje,

lo cual no es cierto en la realidad. El coeficiente de escorrentía es el valor que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente.

Para el cálculo de la escorrentía de aguas pluviales se considera que las lluvias de diseño son de intensidad, duración y frecuencia constantes y uniformes en toda la extensión de la cuenca. También se considera que la velocidad máxima permisible a tubo lleno es de 5,0 m/s en los tramos entre pozos pluviales y la velocidad mínima es de 0,6 m/s, donde se garantice una fuerza tractiva mínima de 0,10 Kg/m², con una capacidad del 85% de la tubería. Se permite una velocidad de hasta 7,0 m/s en el tramo final de pozo pluvial a cabezal de desfogue. El valor máximo permisible del tirante hidráulico debe ser de 0,85 del diámetro interno de la tubería, como lo menciona la *Norma de diseño y construcción de agua, saneamiento y pluvial* (2017. p. 50).

El coeficiente de escorrentía es un cálculo ponderado de las características de la zona en estudio y puede obtenerse con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \text{Ecuación (2,0)}$$

Los valores del coeficiente para un proyecto de recolección y evacuación de aguas pluviales deben ser elegidos considerando el efecto de la urbanización creciente, la posibilidad de realización de planes urbanísticos municipales y la legislación local referente al uso de suelo.

Coeficientes de escorrentía para períodos de retorno de 5 a 10 años en zonas urbanas e industriales:

Tabla 1. Coeficiente de escorrentía

TIPO DE ÁREA O DESARROLLO	C
TIPO DE ÁREA	
Techos de edificios	0,80 - 0,95
Pavimentos de asfalto o concreto	0,70 - 0,95
Pavimentos de ladrillo	0,70 - 0,80
Suelos cubiertos de pasto:	
Pendientes de 2% o menos	0,05 - 0,10
Pendientes de 2% a 8%	0,10 - 0,16
Pendientes de 8% o más	0,16 - 0,20
Suelos arcillosos cubiertos de pasto	
Pendientes de 2% o menor	0,10 - 0,16
Pendientes de 2% a 8%	0,17 - 0,25
Pendientes de 8% o más	0,26 - 0,36
TIPO DE DESARROLLO	
Comercios urbanos	0,70 - 0,95
Oficinas comerciales	0,50 - 0,70
Casas unifamiliares	0,30 - 0,50
Condominios	0,40 - 0,60

Fuente: AyA (2017)

2.4.8. Coeficiente de retardo de Kerby

El efecto que produce un retardo en el agua de escorrentía que transita por los terrenos hasta entrar a los tragantes es adimensional. Este coeficiente se utiliza específicamente para zonas urbanas y se calcula de la siguiente manera:

$$tc = 1,445 \left[\frac{(D * Kk)}{S^{0,5}} \right]^{0,467} \quad \text{Ecuación (3,0)}$$

En donde:

- tc: Tiempo de concentración (min)
- D: Longitud del cauce desde su inicio (m)
- S: Pendiente del cauce principal desde su inicio (m/m)
- Kk: Coeficiente de retardo promedio

Tabla 2. Coeficiente de retardo

Coeficiente de retardo de Kerby	
Tipo de superficie	Kk
Áreas impermeables	0,02
Suelo compacto liso	0,10
Superficie moderadamente rugosa	0,20
Césped pobre	0,20
Pastos comunes	0,40
Bosques arborizados	0,70
Bosques primarios	0,80

Fuente: Chow (1994)

2.4.9. Coeficiente de rugosidad de Manning

Es un valor que no tiene dimensiones, es altamente variable y depende de una serie de factores, por ejemplo: rugosidad superficial, vegetación, materiales de tuberías, sedimentación y socavación. Se representa por el tamaño y forma de los granos del material que conforma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo. En general los granos finos resultan un valor relativamente bajo de n y los granos gruesos dan lugar a un valor alto de n.

Tabla 3. Coeficiente rugosidad de Manning

d. Concreto	
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010

Fuente: Chow (1994)

2.4.10. Fuerza tractiva

Es una fuerza de arrastre, la cual produce un flujo de agua en un canal o tubería, en el fondo de esta. Esta fuerza tenderá a arrastrar materiales que se encuentren depositados en el fondo.

La fuerza tractiva mínima debe ser de 0.10 Kg/m² (1 Pa), preferiblemente mayor a 0.15 Kg/m² y aun mejor, mayor a 0.20 Kg/m².

$$T = \frac{\gamma(V*n)^2}{R^{\frac{1}{3}}} \quad \text{Ecuación (4,0)}$$

En donde:

- γ : Peso específico del agua (Kg/m³)
- V : Velocidad (m/s)
- n : Coeficiente de Manning (0,013)
- R : Radio hidráulico (m) = D/4

2.4.11. Intensidad de precipitación

La intensidad de precipitación máxima es la tasa de incremento máximo de la altura alcanzada por la lluvia contra el tiempo, su unidad de medida es en milímetros entre horas (mm/hr).

Para cada lugar de Costa Rica se calcula una intensidad de precipitación y se calcula mediante la búsqueda de la estación meteorológica más cercana al sitio de estudio; en este caso resulta ser la estación número 72106 denominada 'Santa Rosa', ubicada en la latitud 10°50' y longitud 85°37' a una elevación de 315 msnm.

Las intensidades de precipitación para un período de retorno de 10 años se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 4. Intensidades de precipitación estación Santa Rosa

Tiempo (min)	5	10	15	30	60
Intensidad (mm/h)	217.2	162.0	136.4	92.6	71.3

Fuente: Vahrson y Dercksen (1990)

Se grafican los datos de intensidad en función del tiempo, lo que da como resultado la siguiente figura:

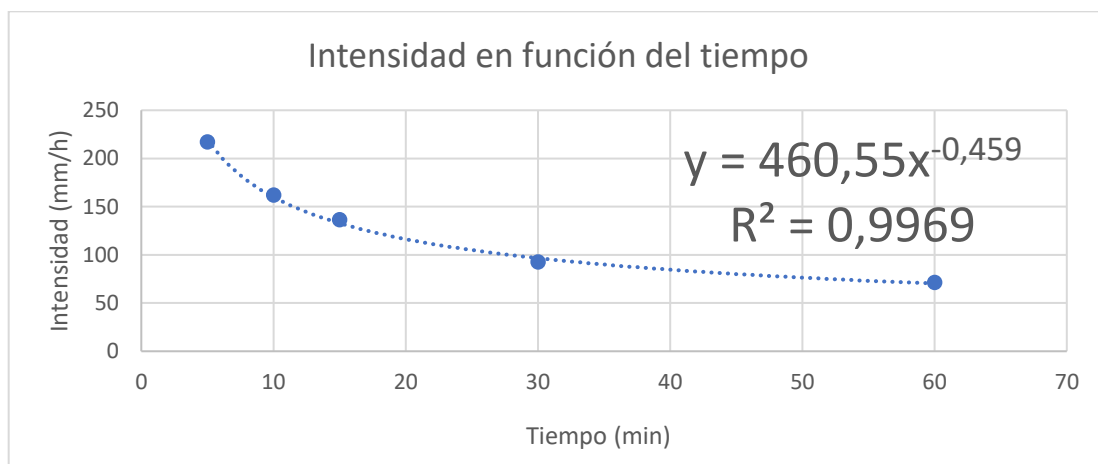


Figura 2. Intensidad en función del tiempo

Fuente: Vahrson y Dercksen (1990)

Al analizar la línea de tendencia con el coeficiente de correlación R^2 más alto resulta la ecuación siguiente:

$$I = 591.7 * t_c^{-0.557} \quad \text{Ecuación (5,0)}$$

En donde:

- t_c : Tiempo de concentración (min)

2.4.12. Número de Froude

Según Chow (1994), el número de Froude es un parámetro que establece la relación entre las fuerzas gravitacionales e inerciales del flujo que circula por un sistema de tuberías.

$$F_R = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D_H}} \quad \text{Ecuación (6,0)}$$

En donde:

- v : Velocidad media de la sección del canal [m/s]
- D_H : Profundidad hidráulica (A/T) [m], siendo A el área de la sección transversal del flujo y T el ancho de la lámina libre
- g : Aceleración de la gravedad [m/s²]

Se dividen en:

Si $NF > 1$; el flujo es supercrítico.

Si $NF = 1$; el flujo es crítico.

Si $NF < 1$; el flujo es subcrítico.

Se recomienda que el NF se encuentre entre un rango de $0.9 > NF > 1.1$ de los flujos subcríticos y supercríticos para evitar cambios bruscos en las transmisiones entre flujos.

2.4.13. Pendiente de la tubería

Relación que existe en las elevaciones del fondo del pozo y la longitud entre los pozos contiguos. Se expresa en forma porcentual.

2.4.14. Periodo de retorno

El periodo de retorno es el intervalo de tiempo promedio dentro del cual un evento de magnitud puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio.

Según Gamboa (1969) “la estadística hidrológica del periodo de retorno es la cantidad de años entre el suceso de una tormenta de determinada intensidad y la ocurrencia de otra de igual o mayor intensidad, también afirma algunos posibles efectos de drenajes según el tipo de carretera”.

2.4.15. Radio hidráulico

Se llama radio hidráulico al cociente del área transversal ocupada por la corriente con el perímetro mojado de la misma.

2.4.16. Tiempo de concentración

Tiempo de concentración: Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida.

Según la *Norma Técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial (2017)* se dice que el tiempo de concentración “está formado por dos componentes, el tiempo de entrada requerido para que el escurrimiento llegue al primer tragante y el tiempo de recorrido dentro de la tubería entre los pozos consecutivos correspondientes al tragante. El tiempo de recorrido en un tramo de tubería se debe calcular respetando las velocidades máximas y mínimas establecidas para sistemas pluviales”.

2.4.17. Tirante hidráulico

Chow (1994), en su libro *Hidráulica de Canales Abiertos*, define el tirante hidráulico o profundidad de flujo de la siguiente manera: “Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre”.

2.4.18. Relaciones hidráulicas

Se debe destacar que la condición normal de flujo en conductos circulares de alcantarillado es la sección parcialmente llena, con una superficie de agua libre y en contacto con el aire.

Durante el diseño es necesario determinar el caudal, velocidad, tirante y radio hidráulico, cuando el conducto fluye a sección parcialmente llena (condiciones reales). Para el cálculo es necesario utilizar las propiedades hidráulicas de la sección circular que relacionan las características de flujo a sección llena y parcialmente llena.

Para simplificar los cálculos se han obtenido relaciones entre las diferentes variables hidráulicas de interés en una tubería de sección circular, teniendo como base las calculadas a sección llena con la fórmula de Manning, con respecto a las correspondientes a un tirante determinado.

Para distinguir entre las variables de tubería llena y parcialmente llena se utilizarán mayúsculas para tubo lleno y minúsculas para tubo parcialmente lleno.

$$Q = VA \text{ (tubo lleno)}$$

$$q = va \text{ (tubo parcialmente lleno)}$$

Se determinan las relaciones fundamentales q/Q y v/V cuyas expresiones son:

$$\frac{q}{Q} = \frac{N}{n} * \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{a}{A}\right) \text{ Ecuación (7,0)}$$

$$\frac{v}{V} = \frac{N}{n} * \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{j}{J}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ Ecuación (8,0)}$$

Durante el diseño del sistema normalmente se conoce la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno (q / Q) y la relación entre la velocidad real y la velocidad a tubo lleno (v / V); si se desea hallar la relación de profundidad la solución a este problema no es directa, pero se puede obtener del diagrama mostrado en la figura 3:

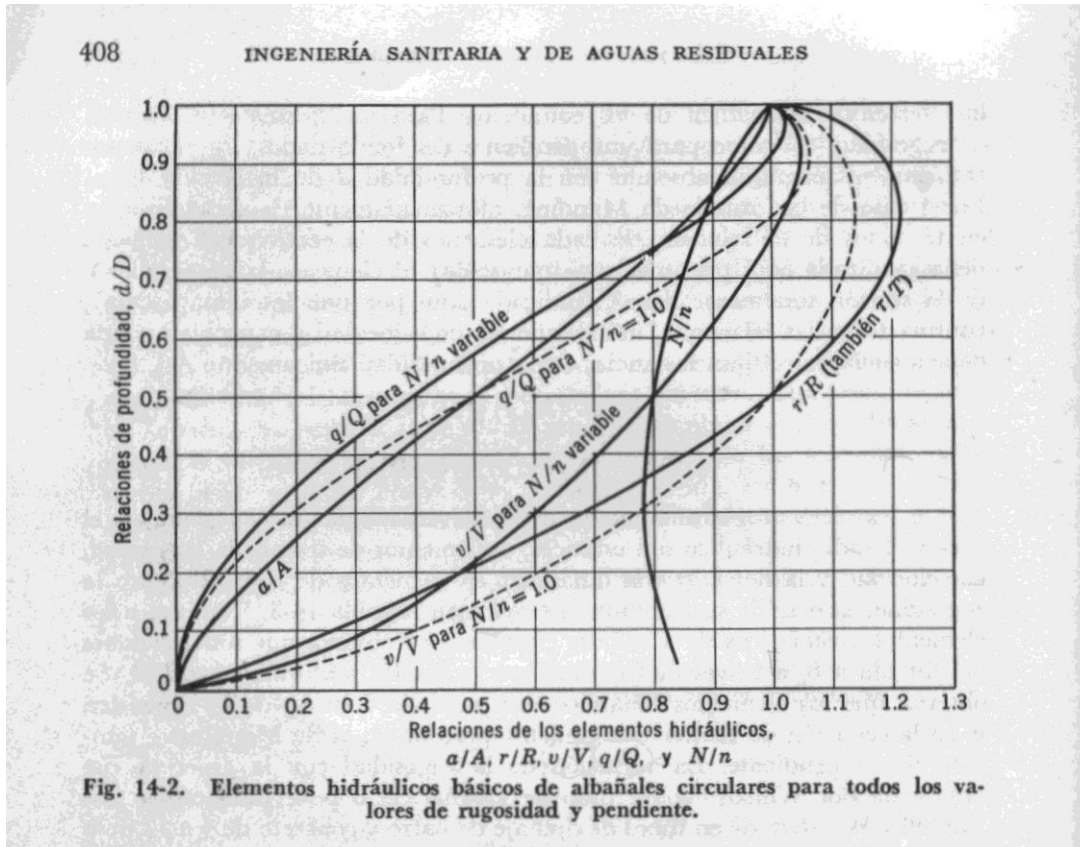


Figura 3. Propiedades hidráulicas de la sección circular

Fuente: Chow (1994)

2.5. Reglamentación técnica para el diseño de alcantarillados pluviales

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados crea para Costa Rica una serie de pautas a seguir para que los profesionales involucrados se guíen y tomen decisiones. La reglamentación técnica que rige el diseño de alcantarillados pluviales corresponde a las normas establecidas por dicho ente en el documento *Norma Técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, saneamiento y pluvial*. A continuación un ligero resumen del apartado correspondiente a sistemas pluviales.

El primer punto corresponde a la estimación del caudal de diseño, para este se debe presentar el detalle de las áreas tributarias y su ubicación espacial según la topografía y sus aportes externos al proyecto. En cuanto al caudal de diseño el cual se debe calcular, existen diferentes métodos para ello, pero en cuanto a este trabajo se utilizará el Método racional que se presentó en la sección 2.4 del presente documento.

En cuanto al cálculo hidráulico se establece que las tuberías deben ser diseñadas como conductos en escurrimiento libre por gravedad utilizando las fórmulas hidráulicas de canal abierto, preferiblemente los coeficientes de Manning, cuyos valores y explicación fueron presentados en la sección 2.4, tabla 5.

La intensidad de lluvia se calcula en función del periodo de retorno de la tormenta de diseño establecido con un mínimo de 10 años. El cálculo de la intensidad, duración o frecuencia se extraerán de gráficas generadas o seleccionadas por el diseñador, cuya información aplique para la zona de influencia del proyecto y sustentada en datos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional, organismo competente en el tema.

La velocidad máxima es definida por la durabilidad para evitar la erosión de los conductos, por ello el AyA define velocidades de hasta 5m/s bajo condiciones de flujo a tubo lleno, sin embargo, en el caso de tuberías de concreto reforzado la

velocidad máxima permitida puede ser mayor, pero debe contener refuerzo de acero y una resistencia del concreto de 345kg/cm^2 .

Es importante considerar que la velocidad máxima en un conducto circular ocurre cuando el tirante hidráulico es de aproximadamente 0,81 de diámetro, por este motivo pueden existir ocasiones en las cuales la velocidad máxima en el conducto sea mayor a los 5m/s para el tubo lleno.

La velocidad mínima se establece como $0,6\text{m/s}$, además se establece el límite para la fuerza tractiva que no debe ser menor a $0,10\text{ kg/m}^2$, con ello generar el arrastre de sólidos y evitar el depósito de este material en las tuberías para permitir así una autolimpieza de los conductos.

Se deben utilizar disipadores de energía-velocidad en la descarga a cuerpos receptores o dentro del terreno donde se ubica el proyecto, los cuales garanticen que la velocidad se disminuya y sea de $2,5\text{m/s}$ como máximo.

Los conductos se establecen con una geometría circular, en el caso de redes pluviales con tuberías plásticas y un "n" de Manning igual o inferior al PVC se menciona un diámetro nominal mínimo de 375mm y si se utiliza tubería de polietileno de alta densidad o tubería de concreto, el diámetro nominal mínimo debe ser 400mm .

El valor máximo permisible del tirante hidráulico debe ser de 0,85 del diámetro y no se permite disminuir el diámetro de los conductos en dirección del flujo.

Respecto a su ubicación, las tuberías del alcantarillado pluvial deben ser colocadas por debajo de las tuberías del sistema de saneamiento a una distancia mínima de 20cm . Se deben ubicar en los costados sur y este de avenidas y calles, en el centro respecto al alcantarillado sanitario y el cordón de caño. En las vías terciarias con calzada en una pendiente de bombeo, el sistema de alcantarillado se distribuye en el ancho de la calle sin intervenir con los sistemas sanitarios y potables. En caso de no cumplir con la profundidad requerida debido a la topografía y ésta deba ser menor a lo establecido, es necesario colocar losa de concreto reforzado.

En todo inicio, intersección de tuberías, cambio de diámetro, cambio de pendiente, cambio de material y cambio de dirección en tuberías se deben construir pozos circulares de concreto reforzado, y en tramos rectos entre pozos la distancia no puede exceder 120m; en caso de servidumbres o terrenos sin paso de vehículos la distancia no debe exceder los 40m. Los pozos pueden tener varias entradas de caudal, pero solo una salida de éste. Para pozos con profundidades superiores a 5m o con un diámetro interno de 2m se debe presentar un análisis geotécnico y estructural que determine las características del pozo. Para todo pozo que no sea fabricado o prefabricado en concreto es necesario incorporar memorias de cálculo y fichas técnicas para demostrar su cumplimiento estructural y de fabricación. Además de que es necesario en estas obras peldaños para su acceso y en el fondo un diseño de tal forma que no se acumulen o retengan los sedimentos.

La proyección de tragantes debe ser de tal manera que entre tragantes no se excedan los 120m, en esquinas de convergencia de puntos bajos se deben construir dos tragantes, y en esquinas de puntos altos solo un tragante. La profundidad de estos debe ser mínimo de 90cm respecto a la rasante y deben ser construidos en concreto reforzado.

En lo que respecta al cordón y caño, estos deben recibir de forma directa la descarga de agua pluvial de las diferentes construcciones; en caso de calzadas deben tener bombeo hacia ambos cordones de caño, pero en condiciones topográficas que no se permita o no sea posible se permite un solo bombeo. Se permite máximo dos tragantes en serie, los cuales deben tener conexión a un pozo de registro.

En caso de que el sistema pluvial no pueda descargar en un cuerpo receptor con el mínimo gradiente se permite el uso de canales abiertos.

Si los gobiernos locales indican que el sistema pluvial debe contener un sistema de retardo pluvial, requerimientos o parámetros complementarios deben ser estipulados por los gobiernos locales para el cálculo de los sistemas de retardo, este debe contener al menos las siguientes estructuras: estructura de entrada, estructura

de demasías, sistema de control de salida, área de amortiguamiento o de retención de caudal, ya sea abierta o cerrada, y disipadores de energía de ser necesario.

2.6. Análisis de alcantarillado pluvial: SWMM

El programa desarrollado por US Environmental Protection Agency con el nombre de *SWMM* o *Storm Water Management Model*, es un software especializado que permite simular procesos hidrogeológicos e hidráulicos de un sistema pluvial, representando así la variación de un flujo dentro de un sistema para un evento en particular o una serie de eventos.

Todo proceso tiene variaciones y el proceso de escorrentía de un área también las tiene ya que conforme transcurre el tiempo la precipitación varía. Debido a esto, contemplar la variable del tiempo en un análisis es necesario para poder reflejar lo que sucede en la realidad, por tal motivo la utilización de dicho simulador para el análisis del alcantarillado pluvial en estudio.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

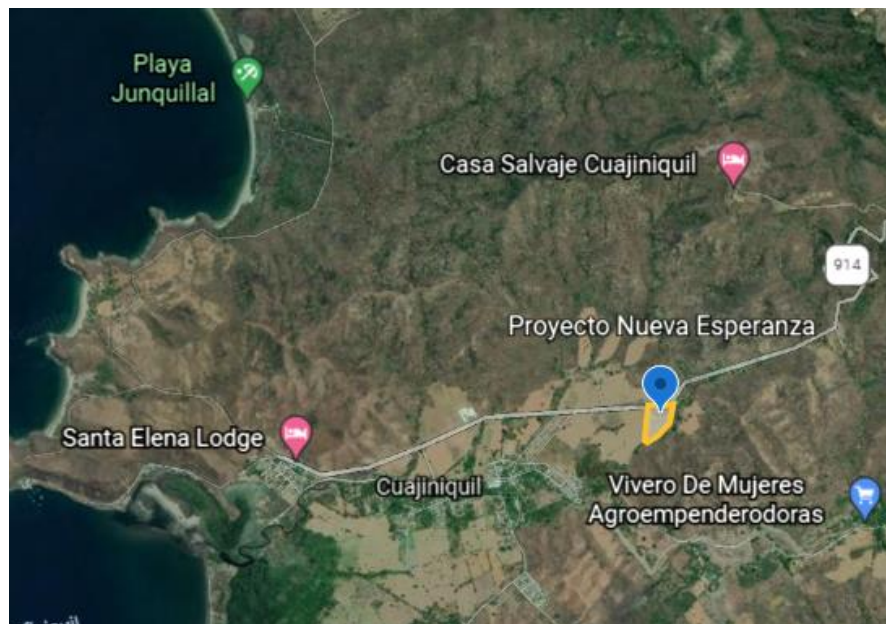
3.1. Marco metodológico

3.1.1. Paradigma

La finalidad de este proyecto es realizar una propuesta de diseño hidráulico de alcantarillado pluvial, apropiado a las nuevas condiciones hidrológicas del sitio en estudio, con el objetivo de mejorar tanto el funcionamiento de la circulación de aguas pluviales como la constante problemática de inundaciones, además de un desarrollo ordenado y de dicho sistema en el proyecto a realizar.

El proyecto se realiza para los vecinos de la zona en relación con el proyecto Nueva Esperanza en el distrito de Cuajiniquil del cantón de La Cruz en la provincia de Guanacaste. La ubicación de este proyecto se presentará con las siguientes coordenadas según Google Earth: en latitud de 10.942 grados, longitud -85.670 grados y altitud de 26.877 m, además de un área aproximada de 33 627 m² que colinda al norte y al este con calle pública, y al sur y el oeste con lotes de repastos.

Figura 4. Zona de estudio



Fuente: Google Earth (2021)

3.1.2. Dimensión temporal

Se propone el diseño del alcantarillado pluvial para una vida útil de 20 años.

3.1.3. Enfoque metodológico

El presente documento tendrá un enfoque cuantitativo que busca dar una propuesta y herramienta como respuesta a posibles problemas ocasionados en el futuro.

3.1.4. Métodos de investigación

El trabajo se realizará con un enfoque de proyecto, por tal motivo no se realizará ningún otro tipo de investigación. La información recolectada será por medio de internet y se transcribirá a programas como Word para una memoria de cálculo y Excel en la parte numérica, donde se tendrá un registro de la información en forma ordenada y clara.

3.2. Las técnicas e instrumentos para recolectar información:

La recolección de datos e información meteorológica se realizará por medio de las estaciones estudiadas por los profesionales Vahrson y Dercksen, los cuales crearon una base de datos. Posteriormente la información se organizará en Excel para así con una memoria de cálculo obtener resultados que posteriormente se compararán con programas automatizados.

Además, es indispensable contar elevaciones con curvas de nivel para el diseño, por eso se procede a revisar las que nos brinda el Sistema Nacional de Información Territorial (SNIT), y el levantamiento topográfico brindado tales elevaciones se ubicarán como puntos en un dibujo en el programa Civil 3D. Estas elevaciones sirven para con el mismo programa y sus funciones poder crear una superficie y con esto obtener las curvas de nivel.

Obteniendo la superficie del proyecto se procede con el mismo programa Civil 3D a crear alineamientos los cuales son necesarios para obtener los perfiles de las calles y avenidas por donde pasarán las tuberías.

Con estos perfiles se pueden observar algunos cambios de dirección y cambios de pendiente, en los cuales se deben de colocar tragantes o pozos pluviales en relación con las normas de diseño actualmente estipuladas. Los pozos pluviales también se colocan en las intersecciones de calles o donde sea necesario colocar dicha obra complementaria.

Cada pozo debe llevar un estudio hidrológico de microcuencas, tal estudio se realiza con una hoja de cálculo creada por el profesional Msc. Ing. Calixto Pacheco Bolaños (2007), esto para establecer el diámetro del pozo con su respectiva pendiente y su diámetro.

Para este proyecto se tomó en cuenta dos métodos distintos para la estimación de caudales generados por la cuenca: el Método racional como método de diseño nacional y el método utilizado por el programa computacional *Storm Water Management Model* conocido como *SWMM*.

3.2.1. Las herramientas tecnológicas computacionales:

AutoCAD: Software del tipo CAD (Computer Aided Design) utilizado para realizar el trazado de las cuencas urbanas y el trazado del sistema de alcantarillado pluvial. La extensión del software es .dwg.

Civil 3D: El software de diseño de Ingeniería civil Autodesk Civil 3D® es compatible con BIM (modelado de información para la construcción) con características integradas para mejorar el dibujo, el diseño y la documentación de construcción.

Google Earth: Programa de información geográfica digital que permite visualizar múltiple cartografía con base en la fotografía satelital. Se utiliza en el proyecto para medir un área aproximada y verificar la ubicación geográfica en la que se encuentra el proyecto.

Global Mapper: Programa que tiene la posibilidad de acceder directamente a varias fuentes en línea de imágenes satelitales, mapas topográficos, exportación de curvas y trazado topográfico en 3D.

Hoja de cálculo: Para el análisis de tuberías en zonas urbanas de Acueductos y Alcantarillados, elaborada por el ingeniero Calixto Pacheco. La extensión de las hojas de cálculo es .xls.

GIS: Es un Sistema de Información Geográfica (GIS) de código libre. Permite manejar formatos ráster y vectoriales a través de las bibliotecas GDAL y OGR, así como bases de datos geoespaciales como GeoPackage.

SWMM: Software especializado que permite simular procesos hidrogeológicos e hidráulicos de un sistema pluvial, representando así la variación de un flujo dentro de un sistema para un evento en particular o una serie de eventos.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Procedimiento

1. Se obtuvo un mapa del proyecto Nueva Esperanza, donde se muestran calles y avenidas, se delimita la zona de estudio y se proponen recorridos de tuberías con dirección de desfogue a la quebrada sin nombre que desfoga a la vez en el río Cuajiniquil.
2. Con la ayuda del programa Civil 3D se creó una superficie del terreno a partir de elevaciones.
3. Una vez obtenida la superficie se procede con el mismo programa a crear alineamientos, los cuales serán necesarios para luego crear los perfiles por donde pasará la tubería.
4. Con el análisis de los perfiles se trazaron los pozos, estos perfiles nos muestran donde hay cambios de pendiente en los cuales se deben colocar pozos. Los pozos también se ubican en intersecciones y cambios de dirección.
5. Una vez identificados los pozos se procede a colocar los tragantes para cada pozo, estos deben ser ubicados en las esquinas de las calles y antes de los pozos. Los tragantes no deben estar separados a más de 120 metros, por lo cual es necesario colocar pozos en tramos menores para satisfacer la condición.
6. Cuando se tienen todos los pozos se dibuja el área de influencia que tiene cada pozo; esta área se necesita para los cálculos de la hoja de Excel programada por Ing. Calixto Pacheco.
7. En esta hoja de cálculo se realizan estudios individuales por ramal de tubería, donde se obtiene la pendiente y el diámetro de la tubería.
8. Con ayuda del programa AutoCAD se procede a dibujar los pozos y la tubería con la pendiente indicada, esto se dibuja en los perfiles creados previamente.
9. Con la información acerca de cantidad de tragantes, pozos y longitudes de tubería con sus diferentes diámetros, pendientes, además de duración y tiempo de lluvias, se procede a dibujar el sistema en el

programa *SWMM* para analizar su comportamiento a través del tiempo, y con ello ver si los pozos no se presurizan y la propuesta cumple con las necesidades del proyecto.

10. Luego de recolectar información acerca de cantidad de tragantes, pozos y longitudes de tubería con sus diferentes diámetros, se procede a realizar los planos para dicho proyecto.

4.1.2. Ubicación de tragantes y pozos pluviales

Se ubican los tragantes en puntos estratégicos, principalmente antes de las intersecciones, en puntos bajos del terreno donde capta el agua que recorre los cordones de caño. Se ubican a una distancia máxima de 120 m.

Los pozos pluviales se ubican en las intersecciones, al sur de las avenidas y este de la calle y son de 1.20 m de diámetro mínimo.

A continuación se muestra la ubicación de los pozos correspondiente al ramal 2. La colocación de todos los tragantes se puede observar en el documento denominado "Diseño pluvial Nueva Esperanza, La Cruz .dwg":

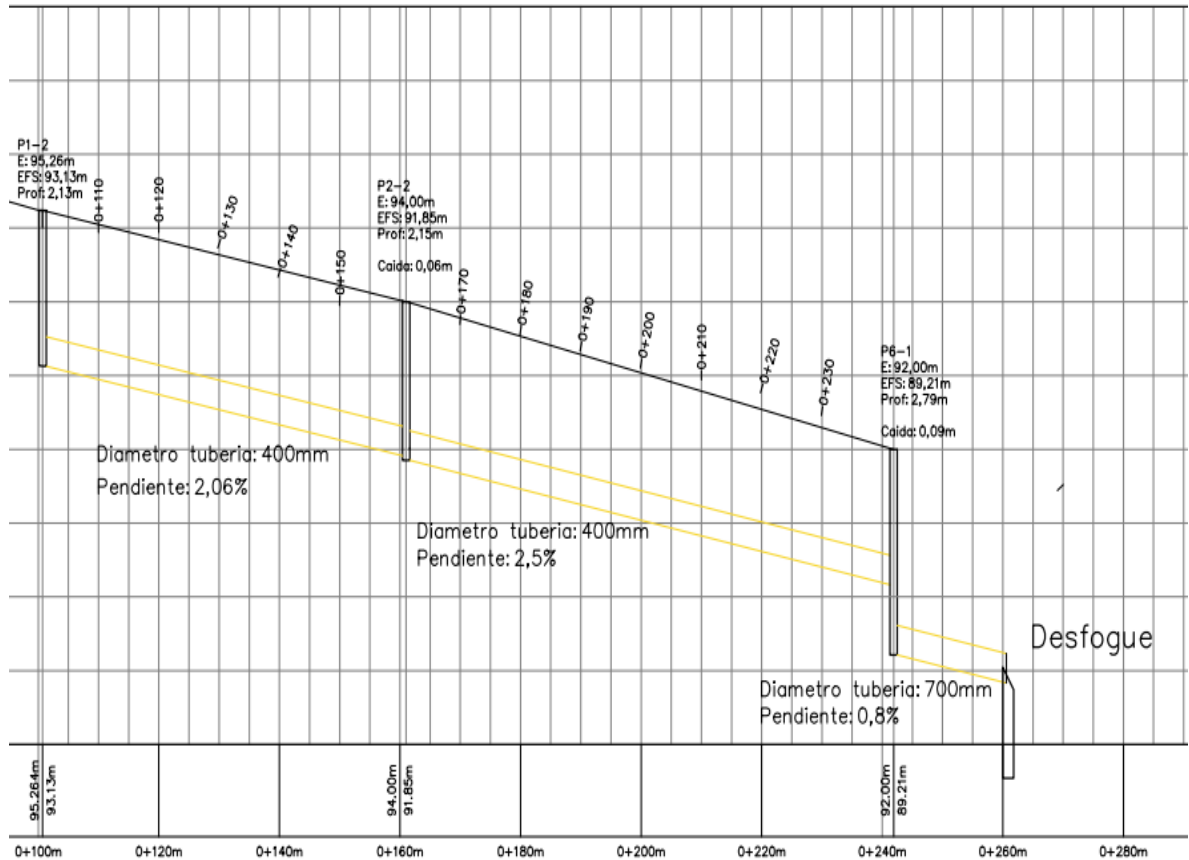


Figura 5. Ubicación de pozos en el tramo del ramal 2

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.1.3. Elevación de pozos pluviales

La elevación de los pozos pluviales se obtiene gracias a los perfiles creados a partir del programa Autodesk Civil 3D, donde se encuentra la elevación de las intersecciones, puntos medios de calles y avenidas, como también puntos de referencia.

4.1.4. Análisis de las áreas tributarias

Las microcuencas o áreas tributarias se obtienen para cada pozo pluvial según la topografía; cada pozo aporta área, a excepción de pozos que son colocados para cambio de dirección o algunos pozos con caída, cuando no se cumple la

profundidad mínima de la corona del tubo respecto a la rasante. A continuación se presenta la microcuenca correspondiente al pozo P1-1. Todas las microcuencas se pueden observar en el documento denominado “Diseño pluvial Nueva Esperanza, La Cruz.dwg”:

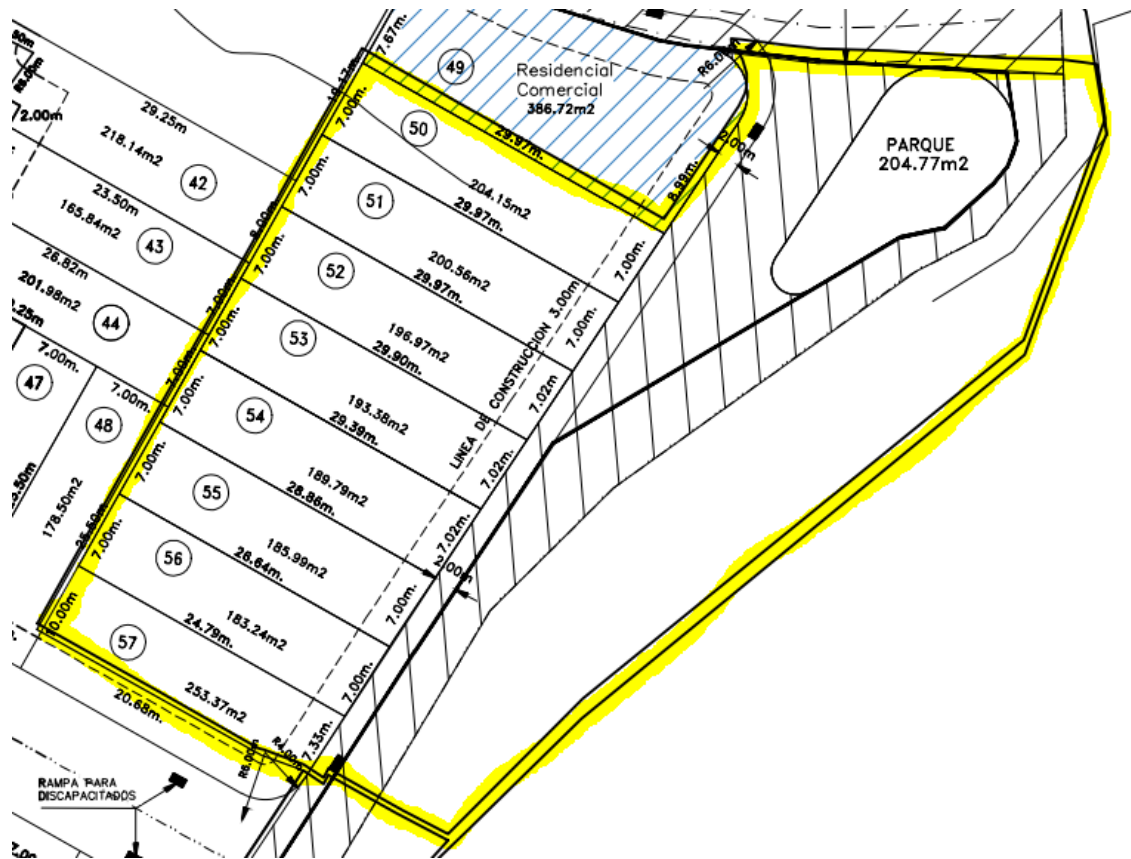


Figura 6. Área tributaria del pozo P1-1

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.1.5. Aplicación del Método racional

El método racional se utiliza para el cálculo del caudal real que aporta cada área tributaria a los pozos y así determinar el diámetro apto de tubería. Para la realización de los cálculos del proyecto se utilizó la hoja de Excel programada por el ingeniero Calixto Pacheco, la cual cumple con los requisitos mínimos del reglamento del AyA. Se comprueba en la hoja de cálculo que la velocidad en todos los tramos y ramales no sea superior a 5.0 m/s, además de que la fuerza tractiva sea mayor a 0.10 Kg/m² y que la relación hidráulica d/D sea menor que 0.85. En la hoja de Excel adjunta llamada "Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz.xls" se muestra el diseño de los 2 ramales. El sistema pluvial: topografía (contenido mínimo de información) se presenta en el ANEXO 1.

Tabla 5. Diseño del ramal 2

Punto considerado	Caudal real, diseño o conducción en la tubería	Pendiente	Diámetro calculado		Diámetro Nominal	Velocidad a tubo lleno		Tiempo de recorrido	Tiempo de concentración al final del tramo	Caudal a tubo lleno	Fuerza tractiva a tubo lleno	Relaciones hidráulicas					velocidad real	Altura de la lámina de agua		fuerza tractiva real	Profundidad Hidráulica	Número de Froude	Flujo Crítico (Inestabilidad)
	q	S	Dc	D	D	V	tr	tc _f	Q	T	q/Q	v/V	d/D	t/T	H/D	v	d	d	t	H	F	Régimen	
	l/s	%	pulg	pulg	mm	m/s	Minu	minutos	l/s	kg/m ²	adimensionales					m/s	pulg	mm	kg/m ²	m			
Ecuación de Santa Rosa			n Manning: 0,010																				
PP1-2	35	2,06	6,4	16	400	3,13	0,32	10,32	405,4	2,06	0,09	0,523	0,228	0,542	0,161	1,63	3,65	93	1,12	0,06	2,06	Supercrítico	
PP2-2	56	2,50	7,3	16	400	3,44	0,39	10,71	446,6	2,50	0,13	0,579	0,276	0,637	0,197	1,99	4,42	112	1,59	0,08	2,27	Supercrítico	

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 6. Diseño del ramal 2

Línea (Colector o F)	Tramo						Incremento	Total
	De Pozo		A Pozo		L	SR		
	Nombre	Rasante	Nombre	Rasante	m	%	m2	m2
2	PP1-2	95,24	PP2-2	94	60,30	2,06%	1 126,56	1 126,56
2	PP2-2	94	PP6-1	92,00	80,87	2,47%	702,45	1 829,01

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.1.6. Perfiles longitudinales

Con los datos presentados anteriormente se procede a realizar los perfiles longitudinales, los cuales nos indican el nivel de fondo (NF) de los pozos, pendiente, diámetro de tubería, nivel de desfogue, entre otros, como se encuentra en el archivo .dwg adjunto llamado “Diseño Pluvial Nueva Esperanza, La Cruz”.

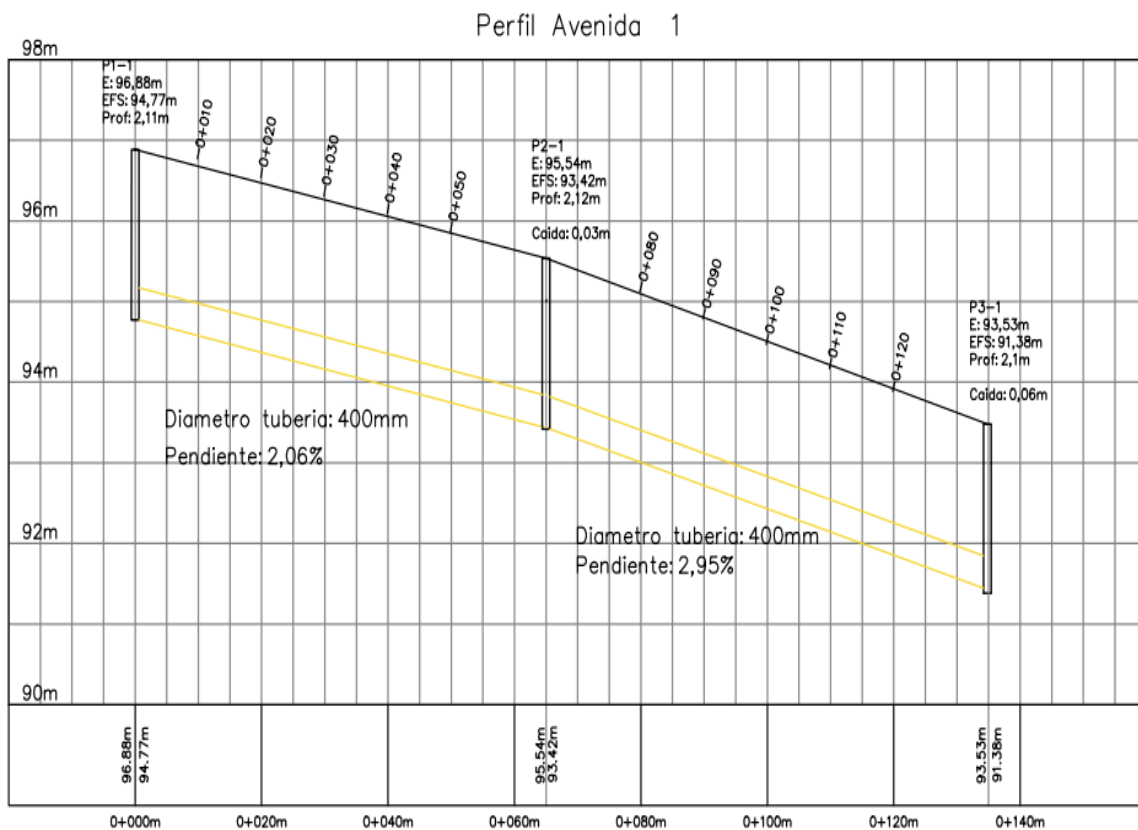


Figura 7. Perfil longitudinal de P1-1 a P3-1

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.1.7. Desfogue final

Para la estructura de desfogue se utilizó como guía el documento titulado “Diseños estándar para ser usados en CR-2010”, en el apartado 601 nombrado como *Estructuras menores de concreto* para un cabezal de concreto para alcantarilla de un tubo, que estipula las siguientes medidas:

Tabla 9. Dimensiones, acero de refuerzo y tabla de cantidades de concreto para cabezal de alcantarilla simple

CABEZAL PARA ALCANTARILLA DE UN TUBO													
<i>DIMENSIONES, ACERO DE REFUERZO Y TABLA DE CANTIDADES DE CONCRETO</i>													
<i>D</i> <i>mm</i>	<i>H</i> <i>m</i>	CABEZALES CUADRADOS			15° inclinación			30° inclinación			45° inclinación		
		<i>L</i> <i>m</i>	Concr. <i>m</i> ³	Acero <i>kg</i>	<i>L</i> <i>m</i>	Concr. <i>m</i> ³	Acero <i>kg</i>	<i>L</i> <i>m</i>	Concr. <i>m</i> ³	Acero <i>kg</i>	<i>L</i> <i>m</i>	Concr. <i>m</i> ³	Acero <i>kg</i>
1200	1,500	2,4	0,91	45	2,5	0,95	49	2,8	1,06	54	3,4	1,29	65

Fuente: Diseños estándar para ser usados en CR-2010 (2010)

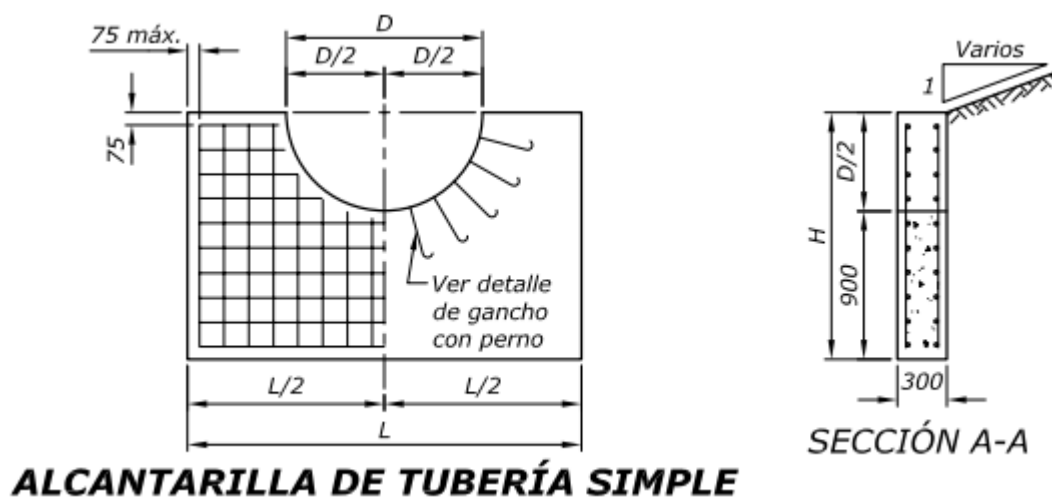


Figura 8. Cabezal para alcantarilla de tubería simple

Fuente: Diseños estándar para ser usados en CR-2010 (2010)

Tabla 10. Dimensiones, acero de refuerzo y tabla de cantidades de concreto de aletones para cabezales de concreto

ALETONES PARA CABEZALES DE CONCRETO																
DIMENSIONES, ACERO DE REFUERZO Y TABLA DE CANTIDADES DE CONCRETO																
D	H m	0° inclinación del aletón			15° inclinación del aletón			30° inclinación del aletón			45° inclinación del aletón			60° inclinación del aletón		
		W m	Concr. m ³	Acero m	W m	Concr. m ³	Acero m	W m	Concr. m ³	Acero m	W m	Concr. m ³	Acero m	W m	Concr. m ³	Acero m
1200	1,500	1,8	2,05	80	1,8	2,03	80	1,8	2,01	80	1,8	2,00	80	1,8	1,99	80

Fuente: Diseños estándar para ser usados en CR-2010 (2010)

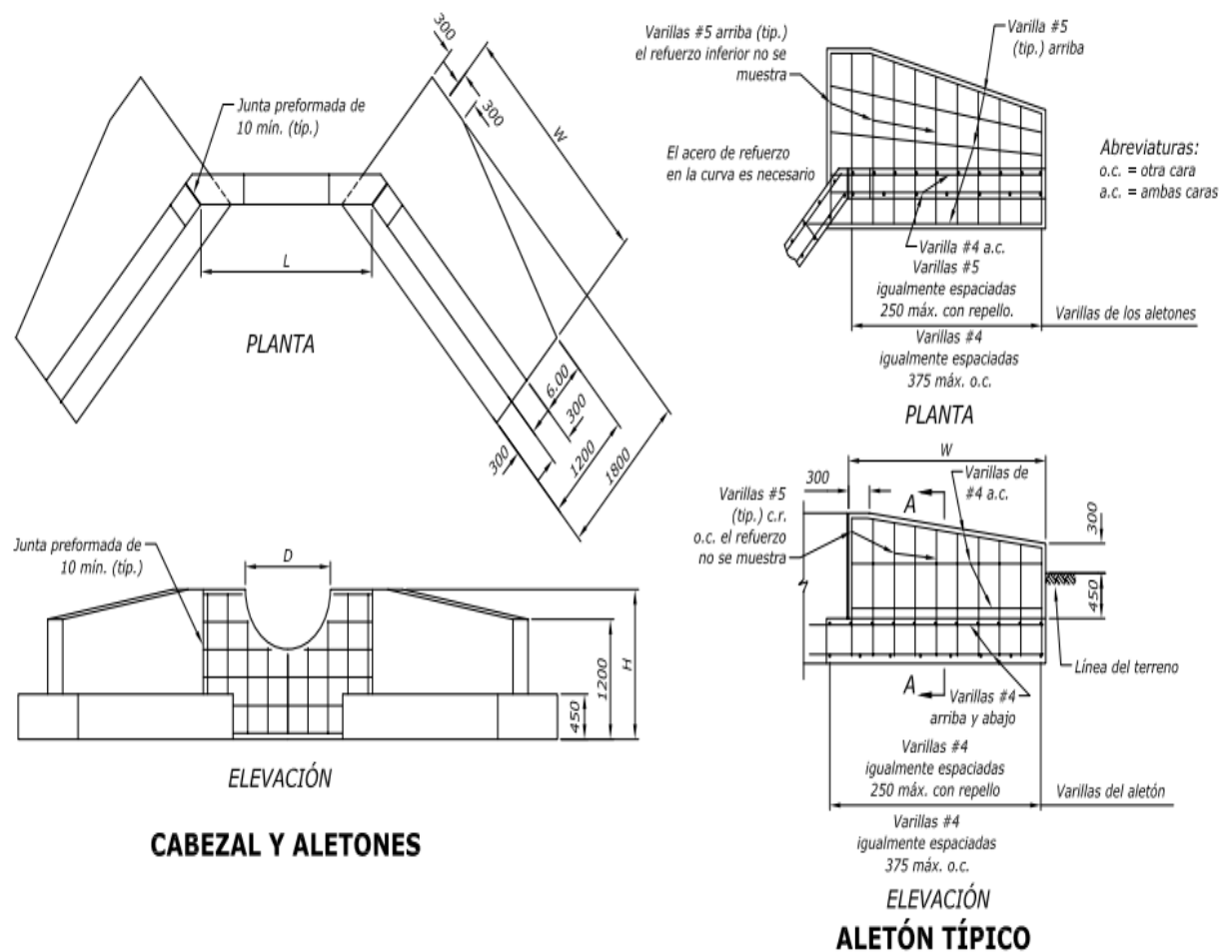


Figura 9. Cabezal y aletones para alcantarilla de tubería simple

Fuente: Diseños estándar para ser usados en CR-2010 (2010)

4.1.8. Simulación en SWMM

Una vez creada la propuesta se procede a dibujar todo el sistema en el programa *Storm Water Managment Model* contemplando toda la información recolectada anteriormente respecto al área en estudio y la propuesta del sistema pluvial. Ya dibujada la propuesta e ingresados los datos de lluvias se procede a correr el programa y analizar los datos de velocidades y caudales para ver si la propuesta cumple.

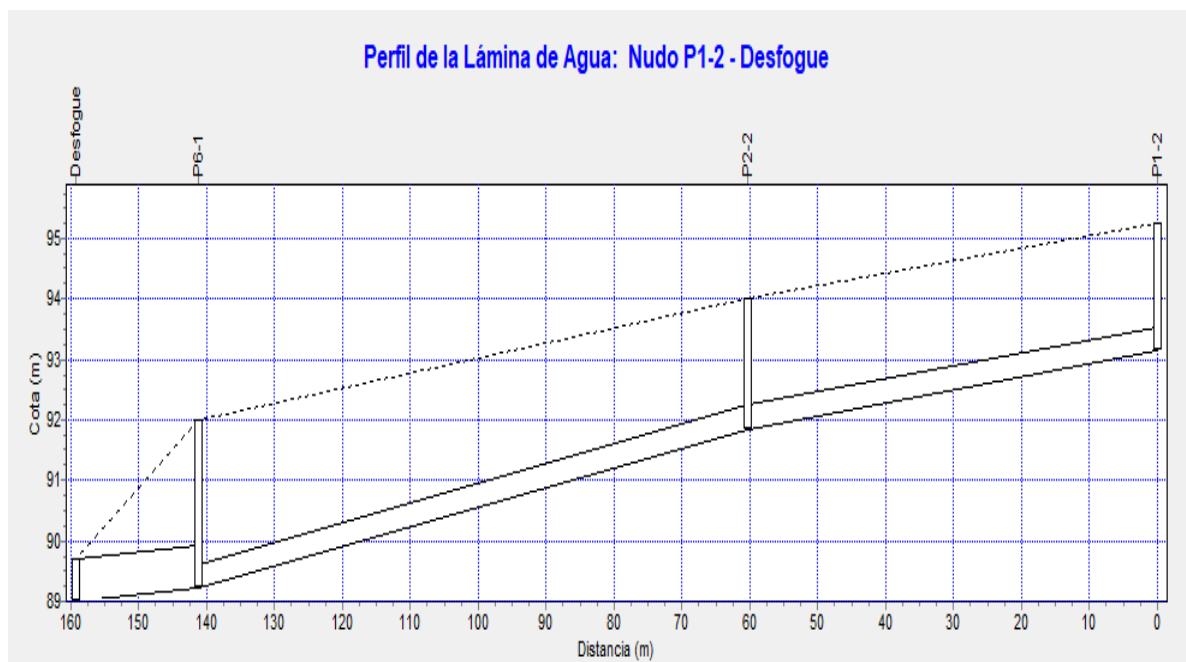


Figura 10. Perfil longitudinal SWMM ramal 2

Fuente: SWMM (2022)

Tabla 11. Análisis de caudales y velocidades del ramal 2- tubería 1

Días	Horas	Caudal (CMS)	Velocidad (m/s)
0	00:05:00	0.00	0.00
0	00:10:00	0.04	1.82
0	00:15:00	0.03	1.71
0	00:20:00	0.03	1.71
0	00:25:00	0.00	0.56
0	00:30:00	0.00	0.36
0	00:35:00	0.02	1.41
0	00:40:00	0.00	0.51
0	00:45:00	0.00	0.34
0	00:50:00	0.00	0.31
0	00:55:00	0.02	1.38
0	01:00:00	0.00	0.48
0	01:05:00	0.01	1.33
0	01:10:00	0.00	0.47
0	01:15:00	0.00	0.33
0	01:20:00	0.00	0.26
0	01:25:00	0.00	0.21
0	01:30:00	0.00	0.00

Fuente: SWMM (2022)

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE ESTUDIO

5.1. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El presente proyecto se realiza con la finalidad de solucionar el problema que se presenta en épocas de lluvia para el proyecto.

Después de diseñar todo el sistema de alcantarillado mediante el Método racional y analizar el mismo en el programa *SWMM*, se proponen diámetros de tubería y pendiente, los cuales son capaces de evacuar el caudal de las precipitaciones en la zona de estudio, cumpliendo con las normas establecidas por AyA. La propuesta está constituida por 2 ramales y 1 desfogue, esto se puede ver en detalle en el documento .dwg adjunto llamado “Diseño Pluvial Nueva Esperanza, La Cruz”.

El diseño contempla todos los parámetros necesarios, proponiendo un diseño óptimo, se consideran los diámetros mínimo-necesarios en las tuberías, la ubicación correcta de las mismas, la ubicación y profundidad de cada pozo necesario, la colocación de pozos con caída, pozos para cambio de dirección y la ubicación adecuada de los tragantes.

El diseño se realiza mediante la utilización de la hoja de cálculo para el análisis de tuberías en zonas urbanas de Acueductos y Alcantarillados.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.1. Conclusiones

- 6.1.1.1. Se recopiló información relacionada a las características morfológicas e hidrológicas del proyecto Nueva Esperanza en La Cruz de Guanacaste, tales como elevaciones, tiempo de concentración, y coeficiente de escorrentía.
- 6.1.1.2. Se realizaron los cálculos de las tuberías de evacuación pluvial mediante el uso del Método Racional.
- 6.1.1.3. Se utilizó la *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial* para realizar el diseño correctamente.
- 6.1.1.4. Se calculó el diámetro correspondiente a cada tubería para el desfogue correcto del caudal a evacuar.
- 6.1.1.5. Se simuló el diseño en el programa *SWMM* para ver su comportamiento y analizar la capacidad del sistema.
- 6.1.1.6. Se diseñaron los planos de acuerdo con las especificaciones técnicas y de diseño presentes en el documento *Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial* del AyA (2017).

6.1.2. Recomendaciones

- 6.1.2.1. Se propone hacer un estudio profundo hidrológico de la quebrada sin nombre, para evitar que el agua procedente del desfogue genere problemas de socavación e inundaciones en dicha quebrada, zonas aledañas del proyecto y su desfogue en el río Cuajiniquil tanto aguas arriba como aguas abajo.
- 6.1.2.2. Se recomienda realizar inspecciones y mantenimientos programados de los tragantes para un correcto funcionamiento de la propuesta de diseño y cumplir con el periodo de diseño de la obra.
- 6.1.2.3. Se aconseja que cuando se realice el proyecto, se tomen en cuenta todos los documentos necesarios, además de los códigos o normas vigentes en dicha actualidad por motivo de alguna actualización o cambio en la norma utilizada en este trabajo.
- 6.1.2.4. Se propone planificar la construcción de pavimento de calles y avenidas, una vez finalizado el diseño de alcantarillado pluvial para optimizar su funcionamiento y evitar taponamientos en el diseño.
- 6.1.2.5. Se recomienda realizar una correcta estrategia de supervisión técnica en la construcción del proyecto, para evitar cualquier error o mala práctica en la construcción y con ello garantizar que la propuesta cumpla con su periodo de diseño.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, P. (2013). Capítulo 3, Principales factores climáticos de Costa Rica. Instituto Nacional de Aprendizaje. Tomado de https://www.inapidte.ac.cr/pluginfile.php/19792/mod_resource/content/1/Principales%20factores%20clim%C3%A1ticos%20de%20Costa%20Rica%20%28v-asec%29.pdf y recuperado el viernes 29 de octubre del 2021.

Ballen J, Galarza M & Ortiz R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Água João Pessoa, Brasil. Tomado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BALLEN%20et%20al.%202006.%20Historia%20de%20los%20sist%20de%20aprovechamiento%20agua%20lluvia.pdf y recuperado el viernes 29 de octubre del 2021.

Breña, P. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. México. Tomado de https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf y recuperado el miércoles 27 de octubre del 2021

Campos. D. (2010). Introducción a la Hidrología Urbana. México. Tomado de https://www.academia.edu/15233413/Introducci%C3%B3n_a_la_hidrolog%C3%A1Da_urbana y recuperado el miércoles 27 de octubre del 2021.

Chow, V. T, Maidment, D, & Mays, L. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá, Colombia. Editorial McGraw Hill Interamericana S.A.

Chow, V.T. (1994). Hidráulica de canales abiertos. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. Bogotá. Colombia

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2008). Cuencas. Cuencas Hidrográficas: Responsabilidad social y técnica, No.231, 16. Editorial Departamento de Comunicación del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos.

Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (2010), folleto de deslizamientos, inundaciones y sismo. Editorial Litografía e Imprenta Universal S.A.

Gamboa. (1969). Diseño hidrológico e hidráulico de drenajes menores de carreteras. San José: Editorial Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica.

Gómez, M. (2017). Hidrología Urbana. Barcelona. Editorial Grupo de Recerca FLUMEN.

Gómez, M. (2007). Cálculo hidráulico en la red de drenaje usando SWMM 5.0, en: Curso de análisis y rehabilitación de redes de alcantarillado mediante el código SWMM 5.0. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña. Editorial Politécnica de Cataluña.

Villón, M. (2004) Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola 2. Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

IMN. (2011). Instituto Meteorológico de Costa Rica. Curvas de intensidad, duración, frecuencia de algunas estaciones meteorológicas automáticas. Tomado de <https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas> y recuperado el miércoles 27 de octubre del 2021.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2017). Sistema Pluvial. En Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. Editorial La Gaceta. Costa Rica.

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2019). Tomado de <https://www.imn.ac.cr/estaciones-automaticas> y recuperado el lunes 25 de octubre del 2021.

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). Indicadores demográficos Cantonales 2013. Tomado de https://www.inec.cr/wwwisis/documentos/INEC/Indicadores_Demograficos_Canton

[ales/Indicadores_Demograficos_Cantoniales_2013.pdf](#) y recuperado el lunes 25 de octubre del 2021.

López, R. (2003). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. (2^{da} edición). Bogotá. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería.

Manual de Carreteras. (2010). Diseños estándar para ser usado con el CR-2010. Editorial Universidad de Costa Rica.

Pérez Carmona, R. (2014). Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje de carreteras. Bogotá. Editorial ECOE Ediciones.

San Martín, J. (1998). Historia antigua del próximo Oriente. Mesopotamia y Egipto. Editorial AKAL S.A. Madrid. España.

SIAPA. (2014). CAP 3. Alcantarillado pluvial: Lineamientos técnicos para factibilidades. Tomado de [www.academia.edu/31139026/Lineamientos Técnicos para Factibilidades SIAPA CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES](http://www.academia.edu/31139026/Lineamientos_Técnicos_para_Factibilidades_SIAPA_CRITERIOS_Y_LINEAMIENTOS_TÉCNICOS_PARA_FACTIBILIDADES) y recuperado el lunes 25 de octubre del 2021

Solórzano Fonseca, JC. (2009). América antigua: Los pueblos precolombinos desde el poblamiento original hasta los inicios de la conquista española. Primera edición. Editorial Universidad de Costa Rica

Villón Béjar, M. (2004). Hidrología (1a ed). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

8. ANEXO 1 SISTEMA PLUVIAL: TOPOGRAFÍA (CONTENIDO MÍNIMO DE INFORMACIÓN)

Perfil Básico							Información para dibujar los Perfiles								
Línea (Colector o Ramal)	Tramo						Longitud acumulada	Recubrimiento mínimo de la corona del tubo a la rasante		Diámetro Interno de los Pozos (mínimo 1,20m)		Longitud de la proyección horizontal del tubo	Desnivel del tubo		
	De Pozo		A Pozo		L	SR		De Pozo	A Pozo	De Pozo	A Pozo			LPH	h
	Nombre	Rasante	Nombre	Rasante	m	%		m	m	m	m			m	m
2	PP1-2	95,24	PP2-2	94	60,30	2,06%	60,30	1,70	1,70	1,20	1,20	59,10	1,22		
2	PP2-2	94	PP6-1	92,00	80,87	2,47%	120,59	1,70	1,70	1,20	1,20	79,67	1,99		

Figura 11. Contenido mínimo de información del ramal 2

Fuente: Elaboración propia (2022)

Perfil Básico							Información para dibujar los Perfiles								
Línea (Colector o Ramal)	Tramo						Longitud acumulada	Recubrimiento mínimo de la corona del tubo a la rasante		Diámetro Interno de los Pozos (mínimo 1,20m)		Longitud de la proyección horizontal del tubo	Desnivel del tubo		
	De Pozo		A Pozo		L	SR		De Pozo	A Pozo	De Pozo	A Pozo			LPH	h
	Nombre	Rasante	Nombre	Rasante	m	%		m	m	m	m			m	m
1	PP1-1	96,88	PP2-1	95,54	65,00	2,06%	65,00	1,70	1,70	1,20	1,20	63,80	1,31		
1	PP2-1	95,54	PP3-1	93,48	69,80	2,95%	134,80	1,70	1,70	1,20	1,20	68,60	2,02		
1	PP3-1	93,48	PP4-1	92,59	64,58	1,38%	199,39	1,70	1,70	1,20	1,20	63,38	0,87		
1	PP4-1	92,59	PP5-1	92,05	58,38	0,92%	257,77	1,70	1,70	1,20	1,20	57,18	0,53		
1	PP5-1	92,05	PP6-1	92	41,74	0,12%	299,51	1,70	1,70	1,20	1,20	40,54	0,28		
1	PP6-1	92	Desfogue	89,00	18,11	16,57%	317,62	1,70	1,70	1,20	1,20	16,91	0,14		

Figura 12. Contenido mínimo de información del ramal 1

Fuente: Elaboración propia (2022)

9. ANEXO 2 SISTEMA PLUVIAL: ANÁLISIS EN PROGRAMA SWMM (CONTENIDO MÍNIMO DE INFORMACIÓN)

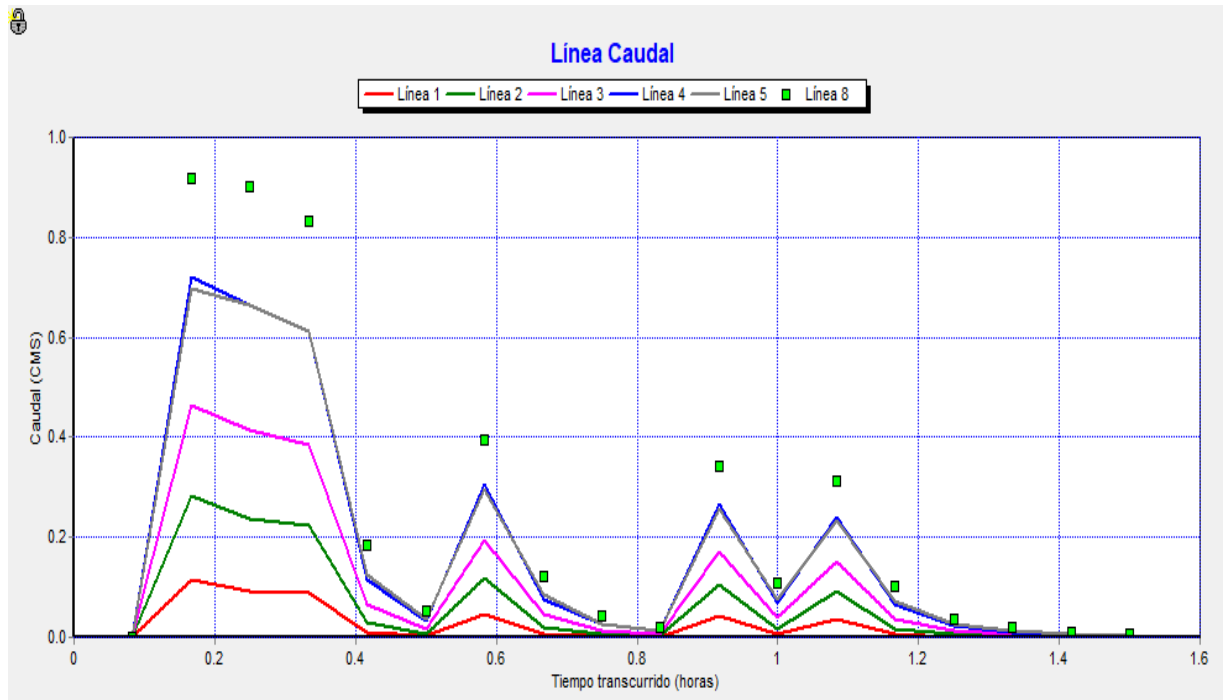


Figura 13. Gráfico de caudal a través del tiempo para el ramal 1

Fuente: SWMM (2022)

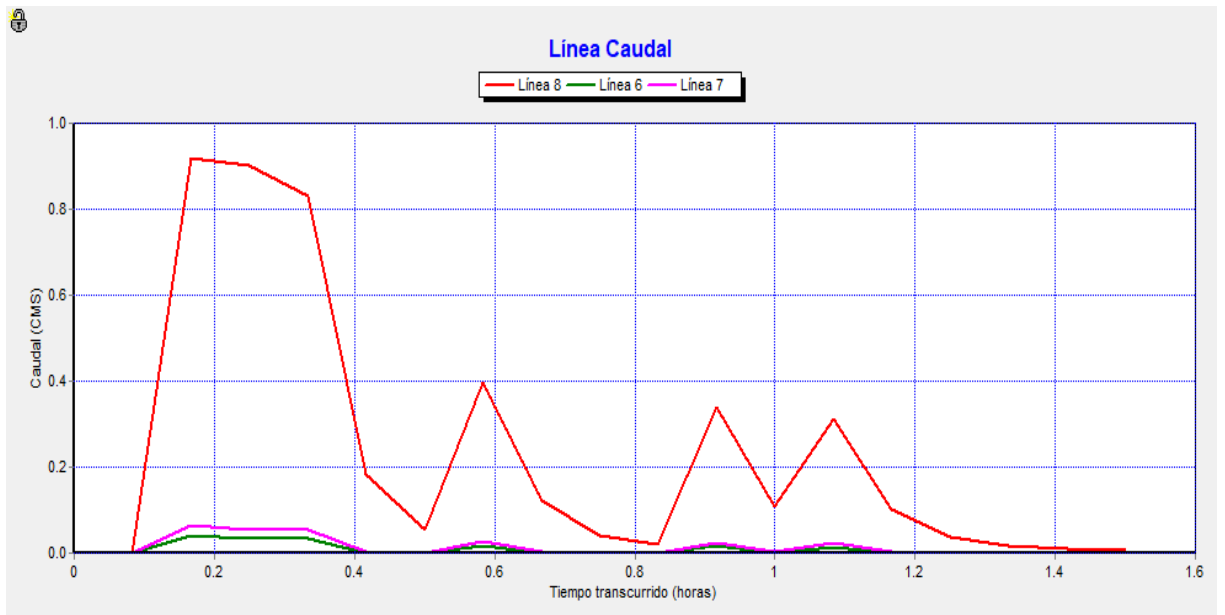


Figura 14. Gráfico de caudal a través del tiempo para el ramal 2

Fuente: SWMM (2022)

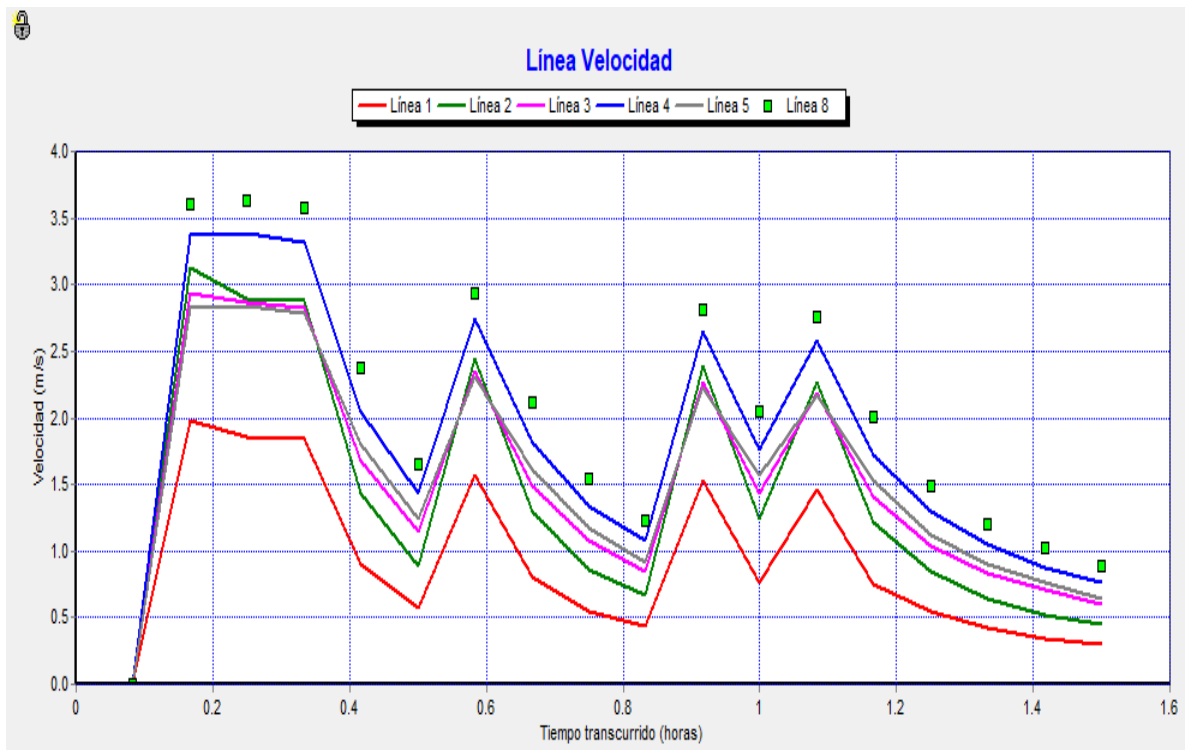


Figura 15. Gráfico de velocidad a través del tiempo para el ramal 1

Fuente: SWMM (2022)

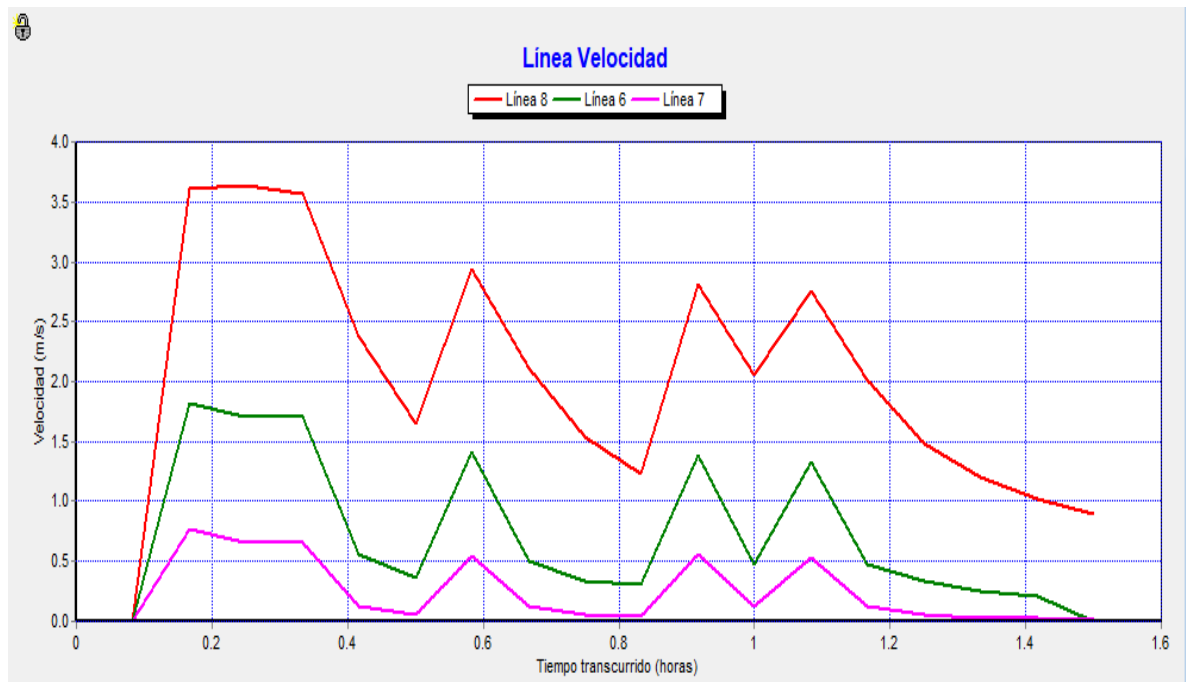


Figura 16. Gráfico de velocidad a través del tiempo para el ramal 2

Fuente: SWMM (2022)

Perfil Calle Publica

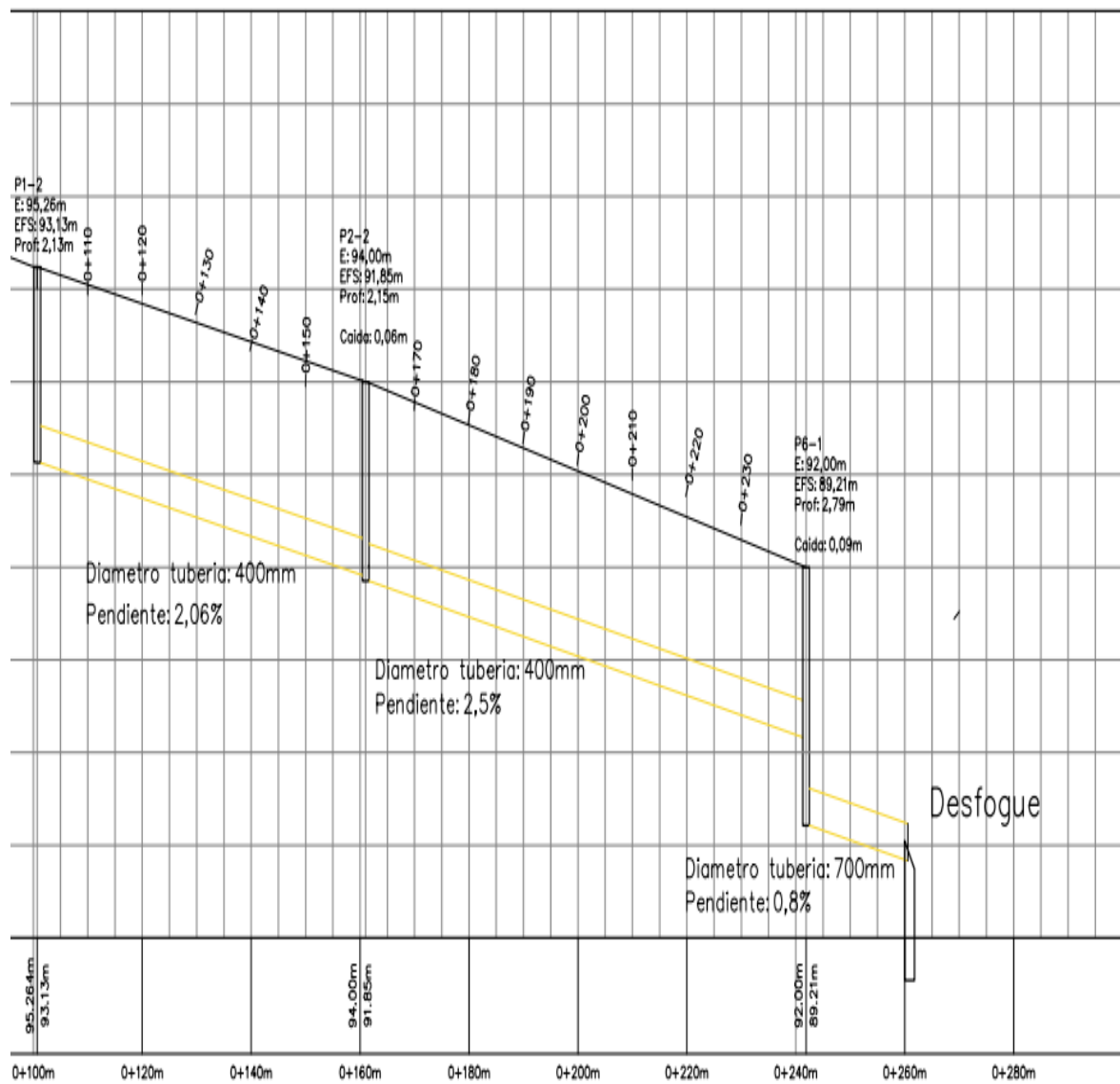


Figura 18. Perfil longitudinal de calle publica

Fuente: Elaboración propia (2022)

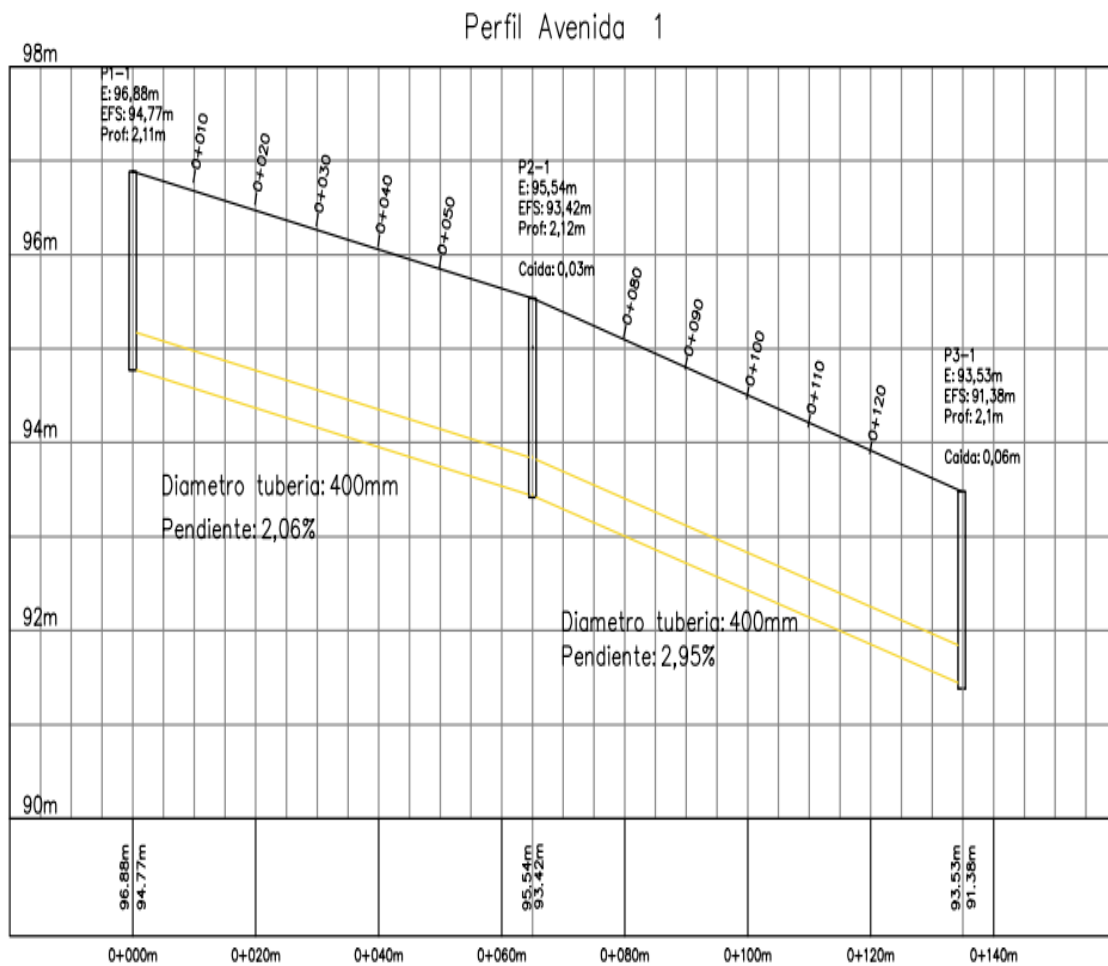


Figura 19. Perfil longitudinal de avenida 1

Fuente: Elaboración propia (2022)

Perfil Calle 1

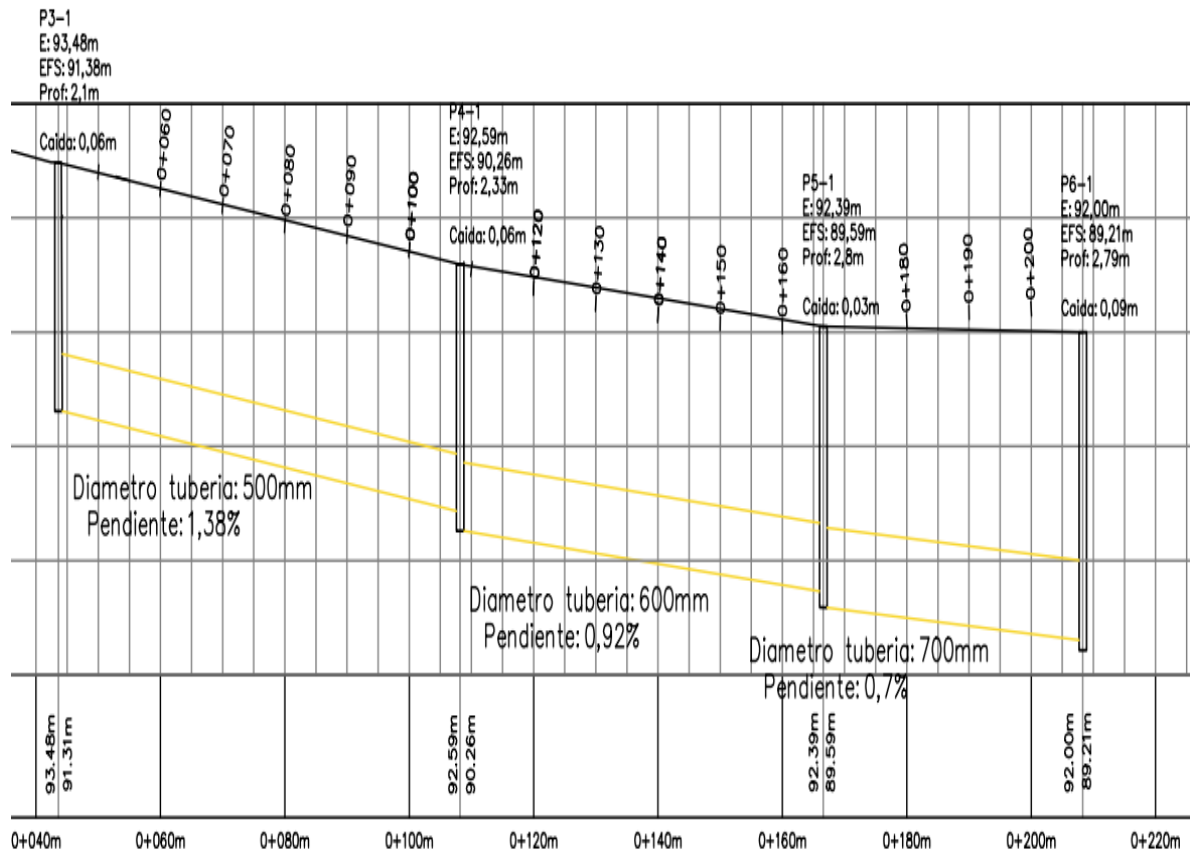
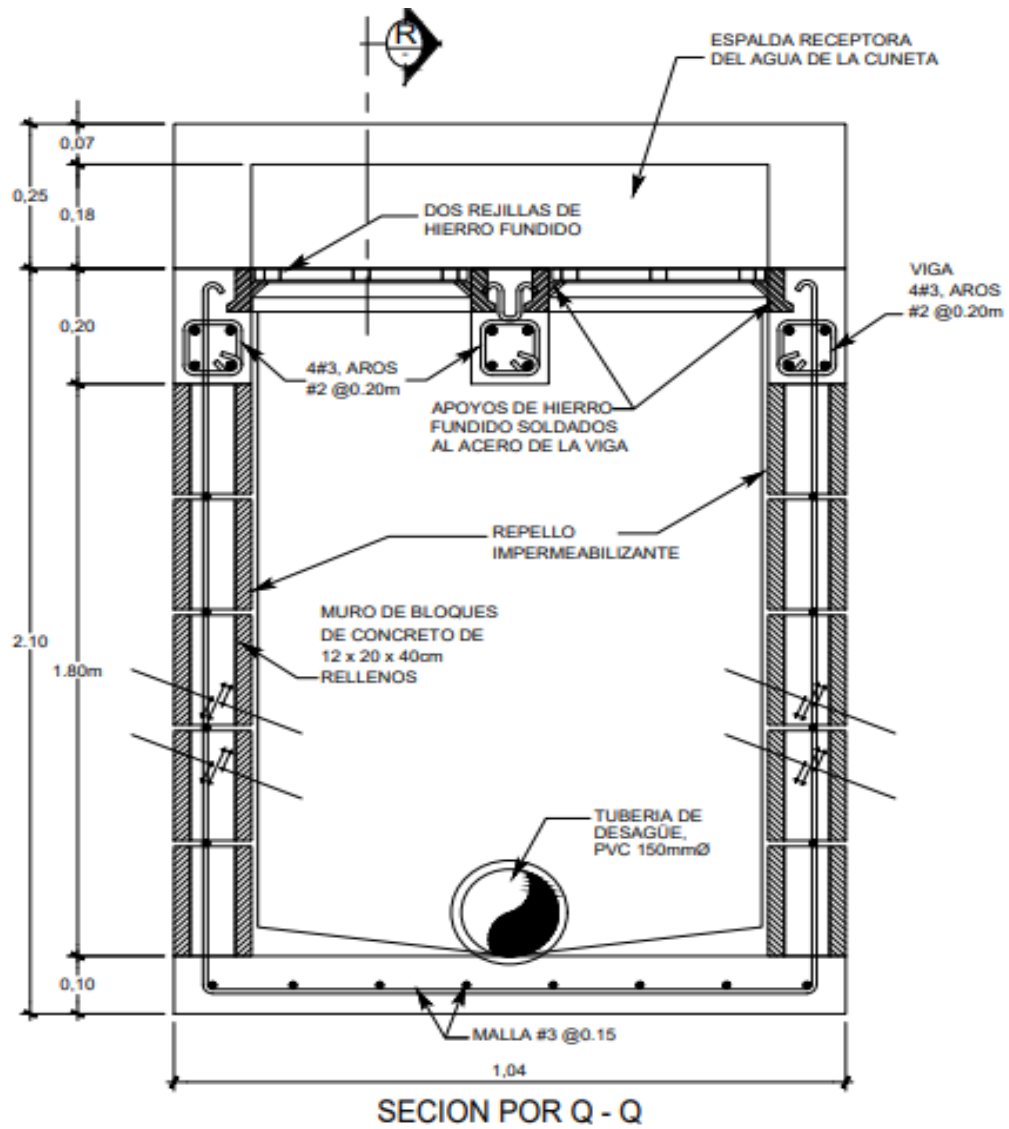


Figura 20. Perfil longitudinal de calle 1

Fuente: Elaboración propia (2022)



DETALLE DE TRAGANTE PLUVIAL

Figura 21. Detalle de tragante pluvial sección Q-Q

Fuente: Elaboración propia (2022)

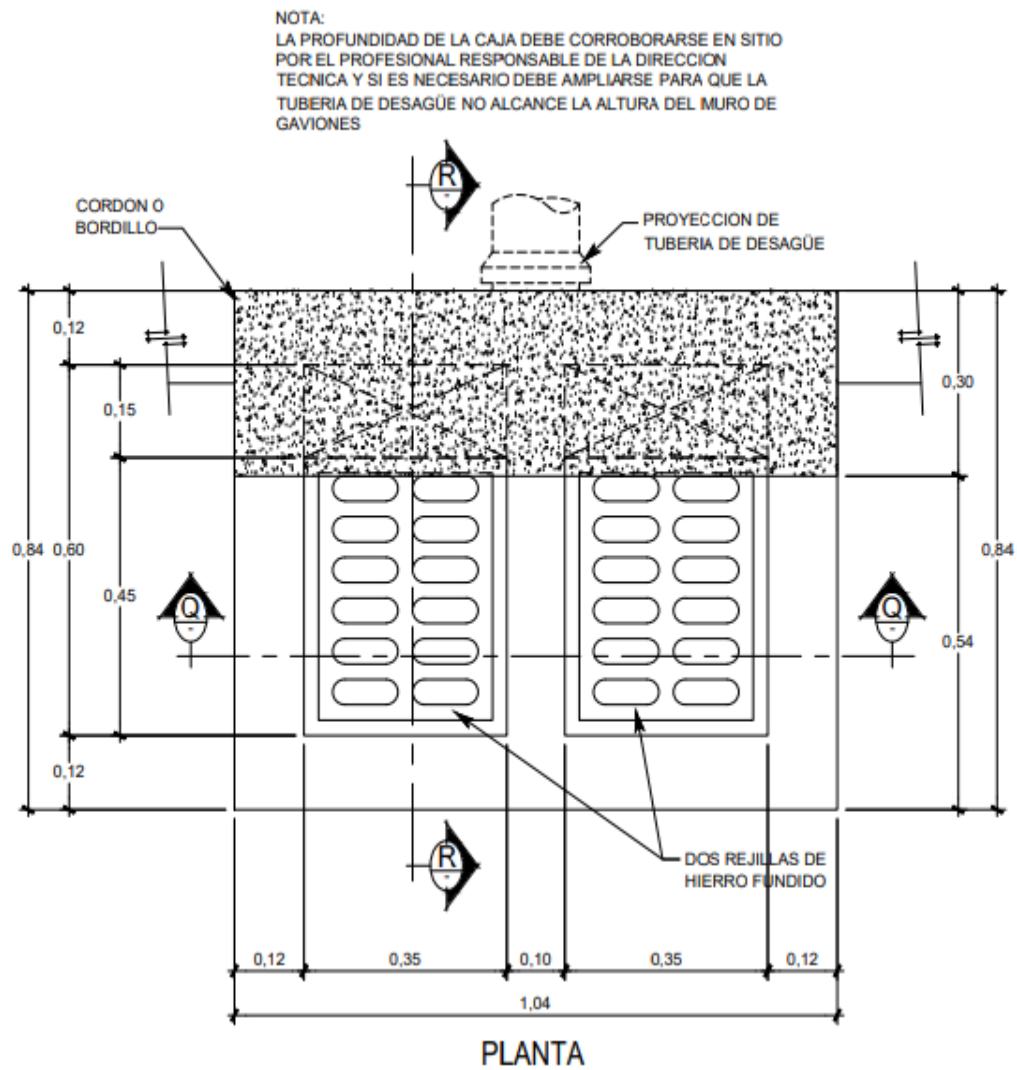


Figura 22. Detalle en planta de tragante pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)

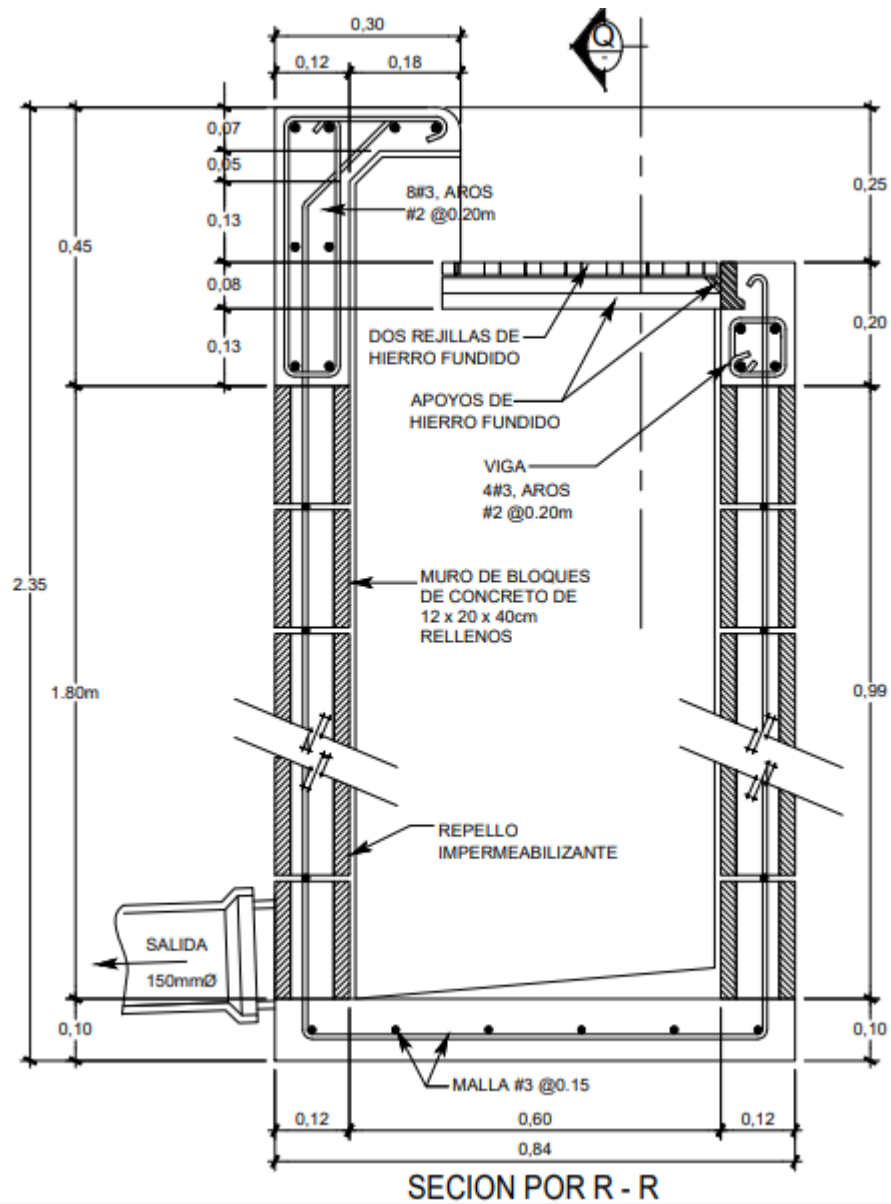


Figura 23. Detalle de tragante pluvial sección R-R

Fuente: Elaboración propia (2022)

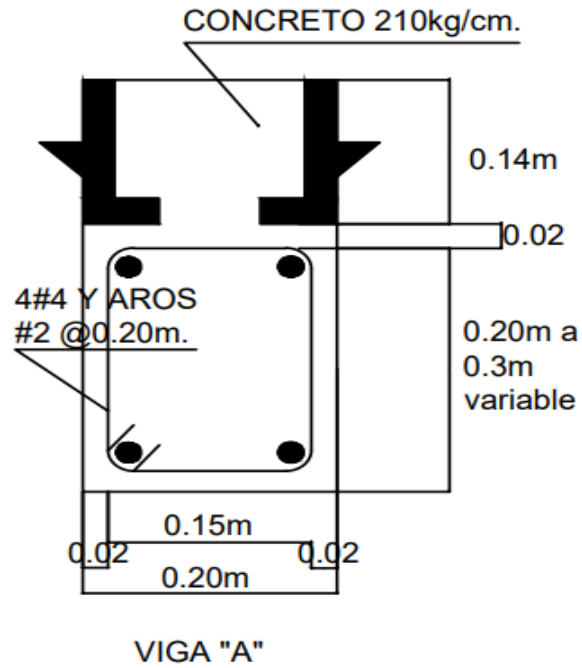


Figura 24. Detalle de viga tipo "A" para tragante pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)

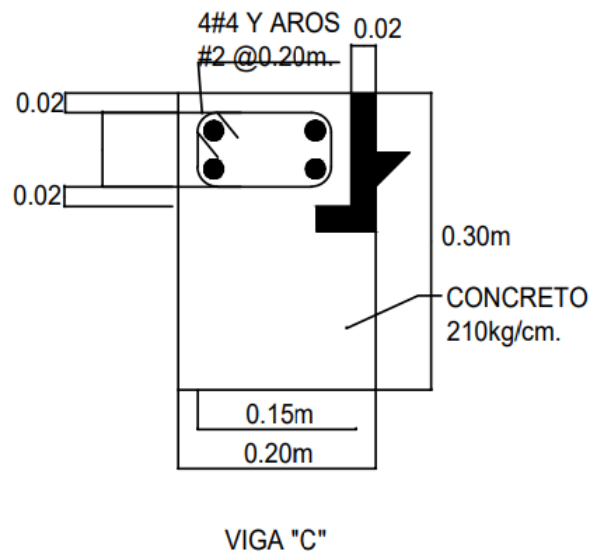
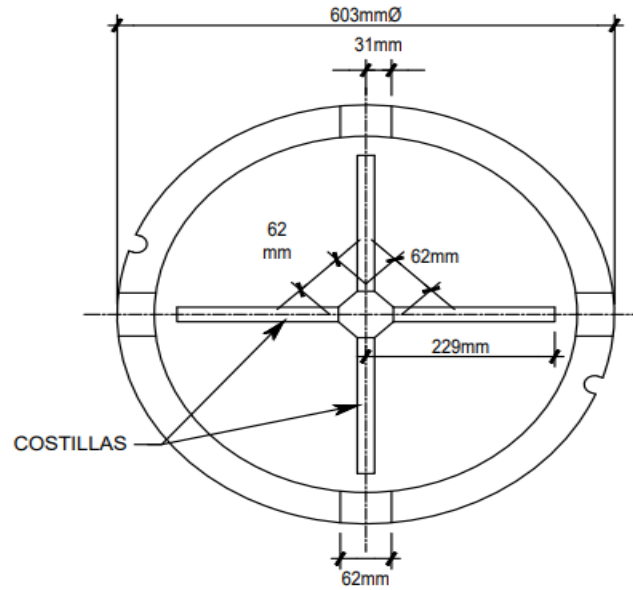


Figura 25. Detalle de viga tipo "C" para tragante pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)



TAPA INVERTIDA

Figura 26. Detalle de tapa invertida para pozo pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)

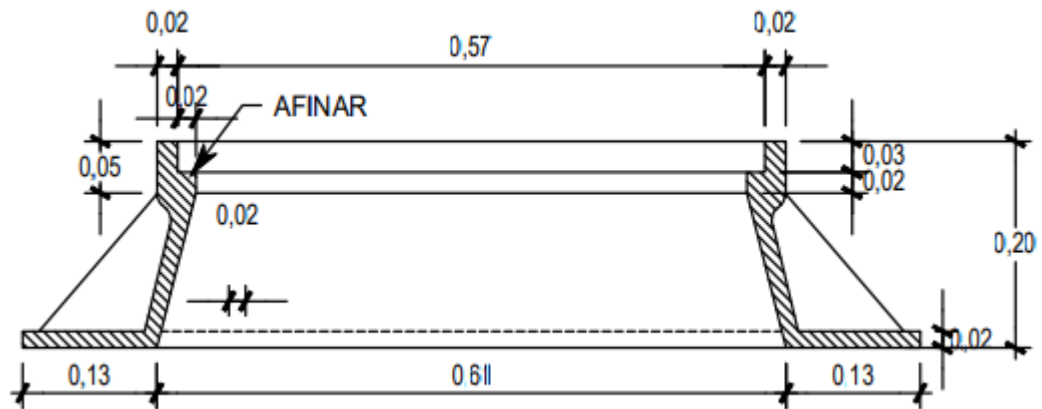


Figura 27. Sección de marco de asiento para pozo pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)

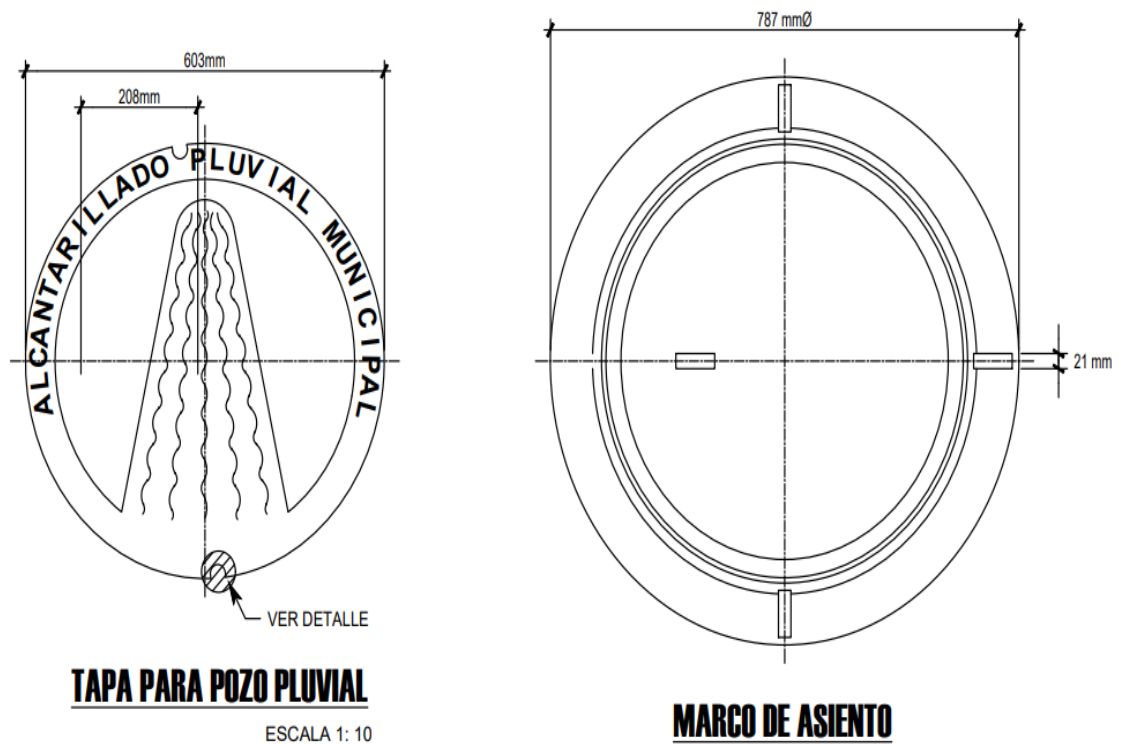
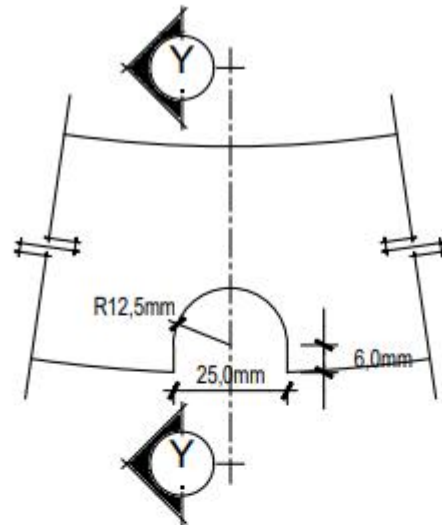


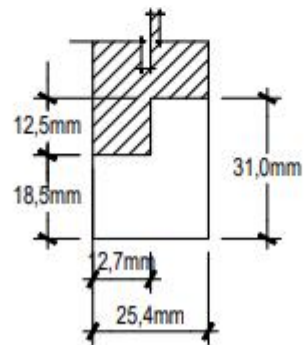
Figura 28. Tapa para pozo pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)



DETALLE RANURA

ESCALA 1: 2



SECCION Y-Y

Figura 29. Detalle de ranura en tapa para pozo pluvial

Fuente: Elaboración propia (2022)

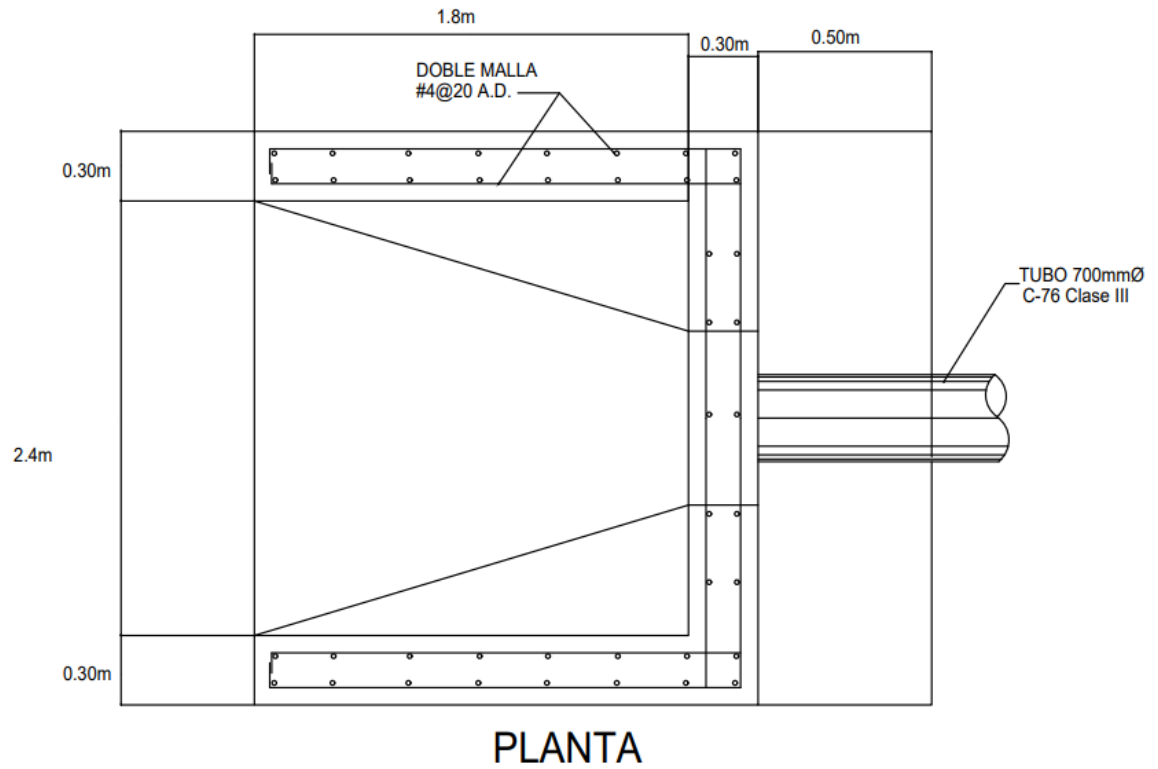


Figura 30. Detalle de cabezal de concreto para desfogues al río

Fuente: Elaboración propia (2022)

11. ANEXO 4 SISTEMA PLUVIAL: MEMORIA DE CALCULO HOJA DE DISEÑO

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Perfil Básico										
Línea (Colector o Ramal)	Tramo						Lotes Techos		Lotes Areas Verdes	
	De Pozo		A Pozo		L	SR	A1	C1	A2	C2
	Nombre	Rasante	Nombre	Rasante	m	%	m2		m2	
							El coeficiente ponderado			
							Área total de Lotes			
							20 930			
							75%		25%	
							15 698	0,90	5 233	0,25
2	PP1-2	95,24	PP2-2	94	60,30	2,06%				
2	PP2-2	94	PP6-1	92,00	80,87	2,47%				
1	PP1-1	96,88	PP2-1	95,54	65,00	2,06%				
1	PP2-1	95,54	PP3-1	93,48	69,80	2,95%				
1	PP3-1	93,48	PP4-1	92,59	64,58	1,38%				
1	PP4-1	92,59	PP5-1	92,05	58,38	0,92%				
1	PP5-1	92,05	PP6-1	92	41,74	0,12%				
1	PP6-1	92	Desfogue	89,00	18,11	16,57%				

Figura 31. Hoja de cálculo “Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz” para diseño del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Vialidad Calles		Vialidad Areas Verdes		Areas Públicas Techos		Areas Públicas Areas Verdes		Incremento	Total	Coefficiente ponderado de la escorrentía:	Período de retorno	
A3	C3	A4	C4	A5	C5	A6	C6	A	AT	C	tn	
m2		m2		m2		m2		m2	m2		años	
de escorrentía se calculó para todo el Proyecto												
Área total de Vialidad				Área total Pública								
5 964				3 608								
89%		11%		11%		89%						
5 326	0,85	638	0,25	411	0,90	3 197	0,25		30 502,10	0,70	10	
								1 126,56	1 126,56			
								702,45	1 829,01			
								3 393,83	3 393,83			
								5 305,76	8 699,59			
								6 670,16	15 369,76			
								9 324,15	24 693,91			
								0,00	24 693,91			
								7 050,67	33 573,59			

Figura 32. Hoja de cálculo “Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz” para diseño del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Punto considerado	Tiempo de concentración al inicio del tramo	Intensidad de la lluvia	Caudal real, diseño o conducción en la tubería	Pendiente	Diámetro calculado	Diámetro Nominal Seleccionado	Velocidad a tubo lleno	tiempo de recorrido	Tiempo de concentración al final del tramo	Caudal a tubo lleno	Fuerza tractiva a tubo lleno	
	t_{ci}	I	q	S	Dc	D	V	tr	t_{cf}	Q	T	
	minutos	mm / h	l/s	%	pulg	pulg mm	m/s	Minu	minutos	l/s	kg/m ²	
Ecuación de Intensidad para: Santa Rosa				n Manning: 0,010								
En éste caso, en los tramos iniciales, el tiempo de concentración a la entrada de los pozos = 10 minutos												
PP1-2	10,00	160	35	2,06	6,4	16 400	3,13	0,32	10,32	405,4	2,06	
PP2-2	10,32	158	56	2,50	7,3	16 400	3,44	0,39	10,71	446,6	2,50	
PP1-1	10,00	160	105	2,06	9,7	16 400	3,13	0,35	10,35	405,4	2,06	
PP2-1	10,35	158	266	2,95	12,8	16 400	3,74	0,31	10,66	485,1	2,95	
PP3-1	10,66	155	463	1,38	18,1	20 500	2,97	0,36	11,02	601,6	1,73	
PP4-1	11,02	153	733	0,92	23,2	24 600	2,74	0,36	11,38	798,7	1,38	
PP5-1	11,38	151	722	0,70	24,3	28 700	2,65	0,26	11,64	1 050,9	1,23	
PP6-1	11,64	149	972	0,80	26,5	28 700	2,83	0,11	11,75	1 123,5	1,40	
Desfogue	11,75											

Figura 33. Hoja de cálculo “Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz” para diseño del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2022)

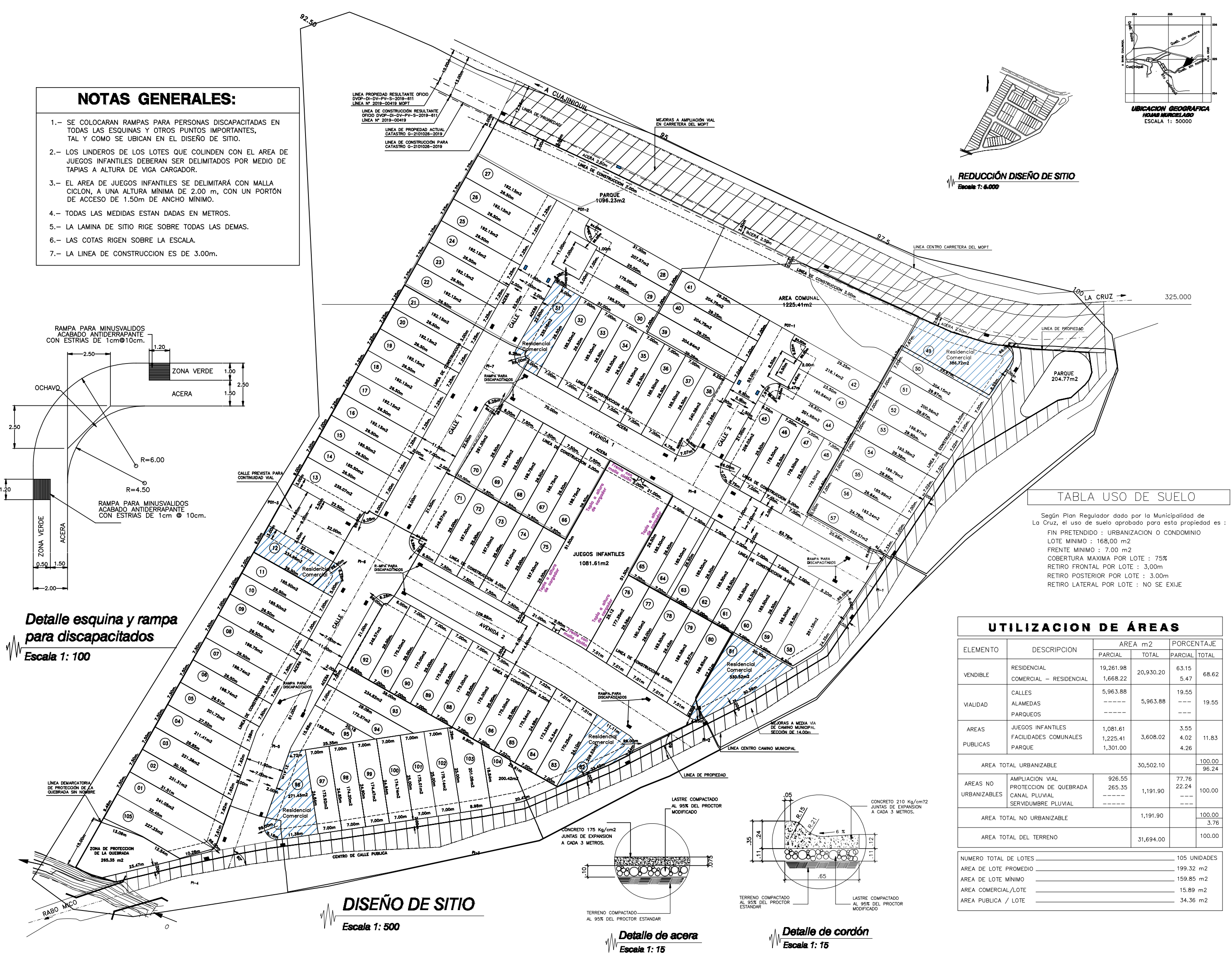
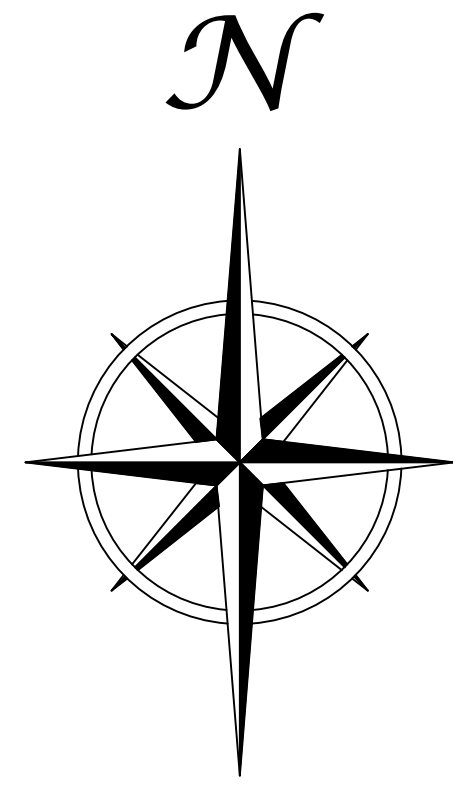
Profesional **Msc. Ing. Calixto Pacheco Bolaños**

Cálculos Hidráulicos													
Relaciones hidráulicas					velocidad real	Altura de la lámina de agua			fuerza tractiva real	Profundidad Hidráulica	Número de Froude	Flujo Crítico (Inestable)	Caída en el Pozo
q/Q	v/V	d/D	t/T	H/D	v	d	d	t	H	F	Régimen	$v^2/2g$	
adimensionales					m/s	pulg	mm	kg/m ²	m			m	
0,09	0,523	0,228	0,542	0,161	1,63	3,65	93	1,12	0,06	2,06	Supercrítico	0,14	
0,13	0,579	0,276	0,637	0,197	1,99	4,42	112	1,59	0,08	2,27	Supercrítico	0,20	
0,26	0,708	0,395	0,849	0,294	2,21	6,32	161	1,75	0,12	2,06	Supercrítico	0,25	
0,55	0,887	0,595	1,106	0,494	3,32	9,52	242	3,26	0,20	2,38	Supercrítico	0,56	
0,77	0,974	0,738	1,202	0,700	2,89	14,8	375	2,07	0,35	1,56	Supercrítico	0,43	
0,92	1,028	0,838	1,215	0,966	2,81	20,1	511	1,68	0,58	1,18	Supercrítico	0,40	
0,69	0,944	0,686	1,177	0,614	2,50	19,2	488	1,44	0,43	1,22	Supercrítico	0,32	
0,87	1,007	0,806	1,217	0,852	2,85	22,6	573	1,70	0,60	1,18	Supercrítico	0,41	

Figura 34. Hoja de cálculo “Diseño Alcantarillado pluvial Nueva Esperanza, La Cruz” para diseño del sistema.

Fuente: Elaboración propia (2022)

12. ANEXO 5 SISTEMA PLUVIAL: PLANOS CONSTRUCTIVOS DEL PROYECTO



DERECHOS RESERVADOS

FECHA ENTREGA:

REVISIONES

NUMERO	FECHA	DESCRIPCION

PROYECTO
**CONJUNTO RESIDENCIAL DE INTERES SOCIAL
NUEVA ESPERANZA**

PROPIETARIO

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
GUANACASTE	SANTA CRUZ	SANTA ELENA

DISEÑO

ARQUITECTO

ING. CIVIL
Carlos Luis Vargas Vargas

ING. MECANICO

ING. ELECTRICO

DIBUJO

PROFESIONAL RESPONSABLE DE DISEÑO
NOMBRE

FIRMA _____ N° REG

PROFESIONAL RESPONSABLE DIRECCION TECNICA
NOMBRE

FIRMA _____ N° REG

INFORMACION DE REGISTRO PUBLICO
PROPIETARIO

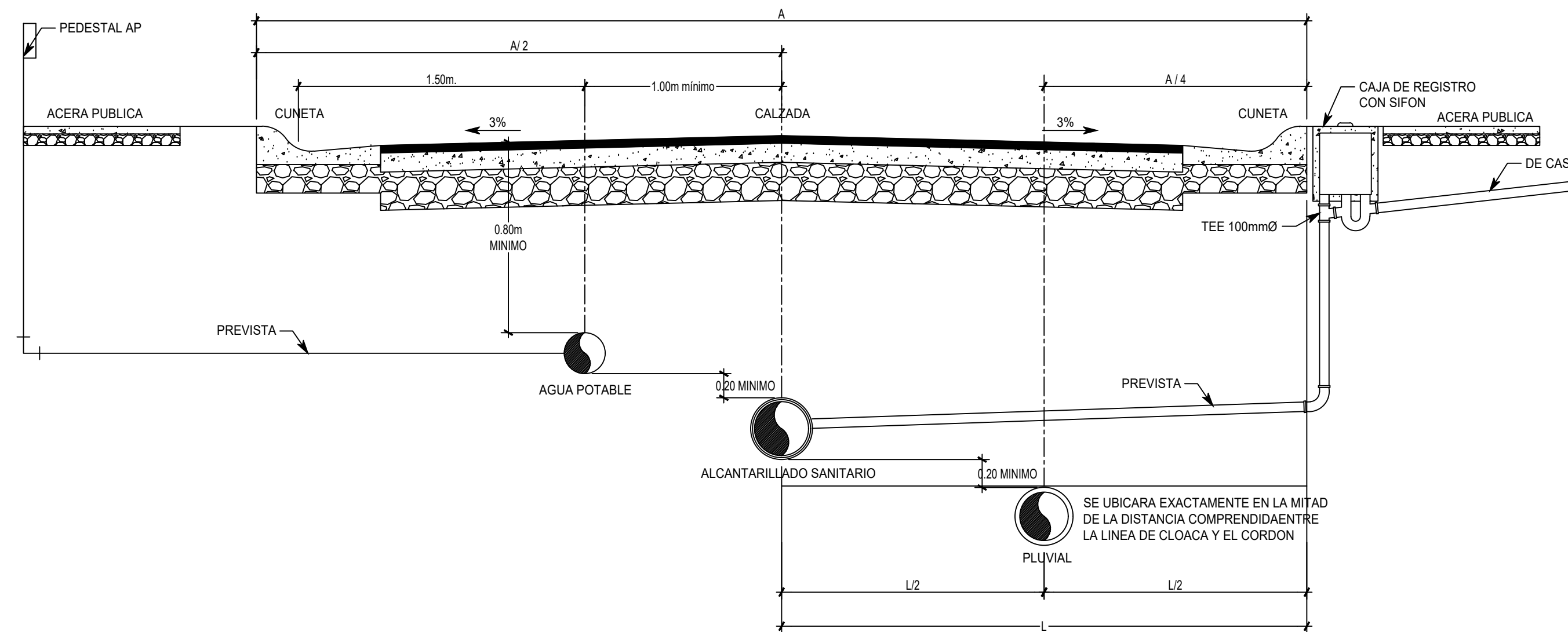
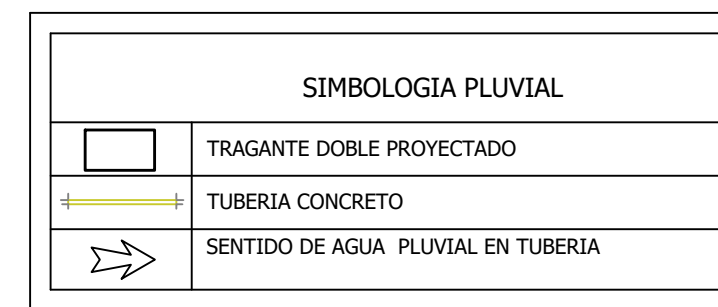
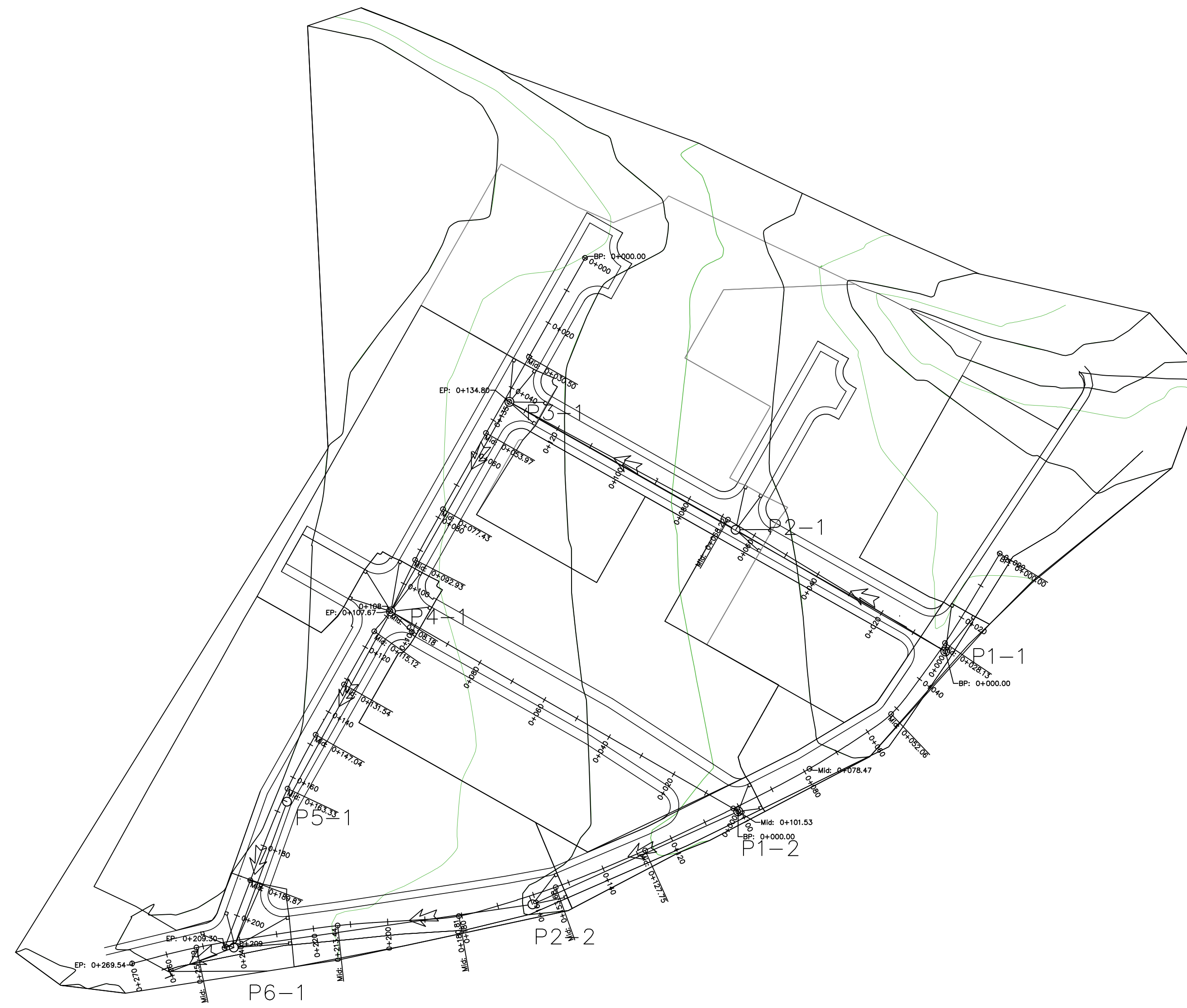
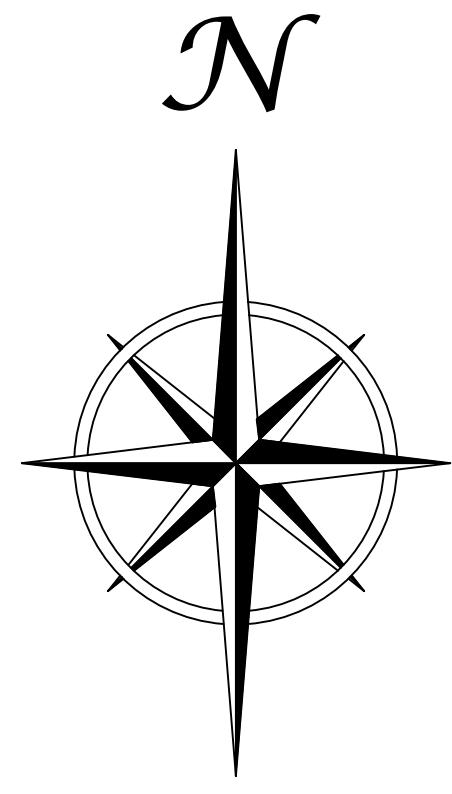
N° CATASTRO

SITAS

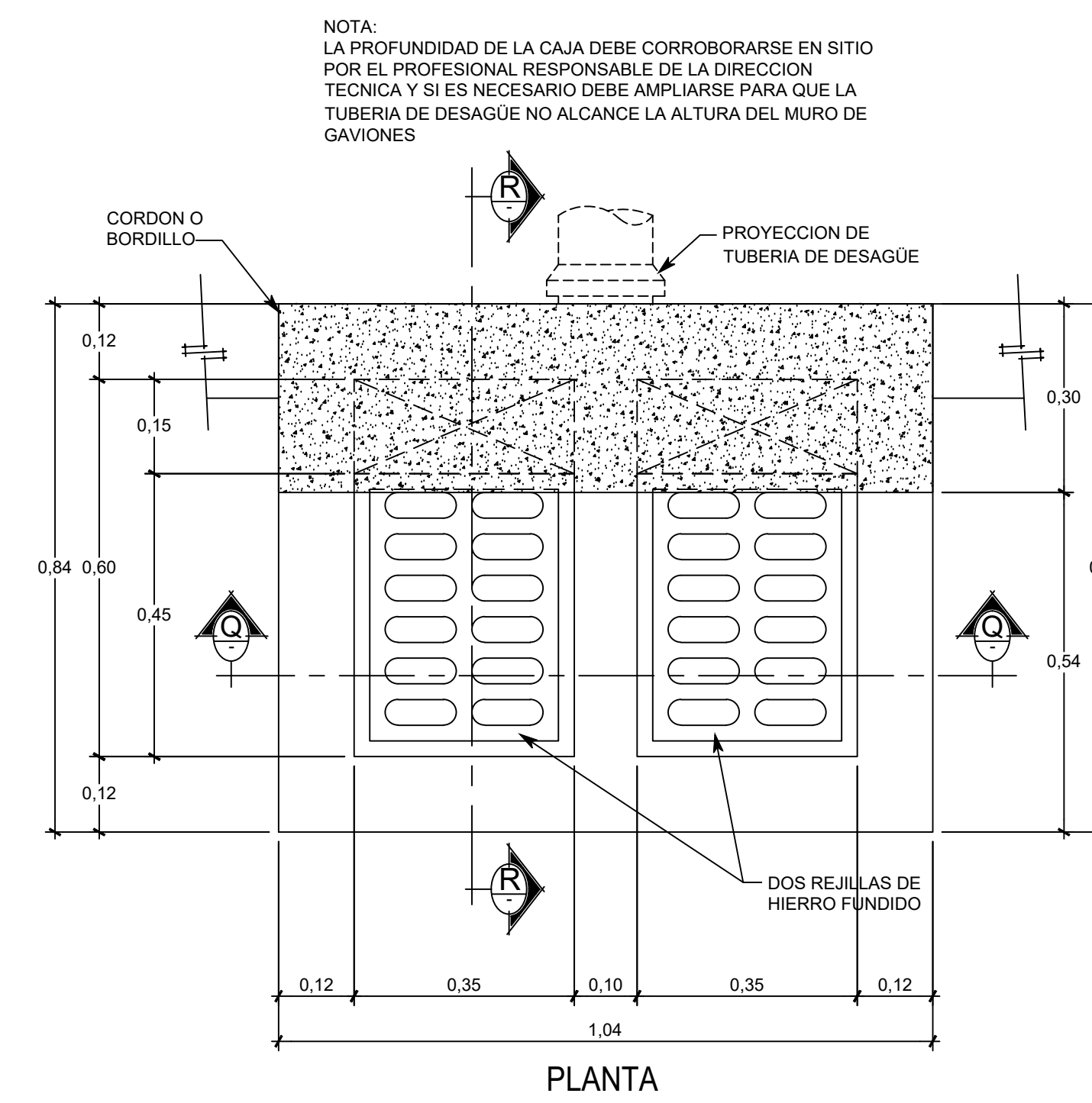
CONTENIDO

- DISEÑO DE SITIO
- TABLA DE UTILIZACION DE AREAS
- UBICACION GEOGRAFICA
- NOTAS

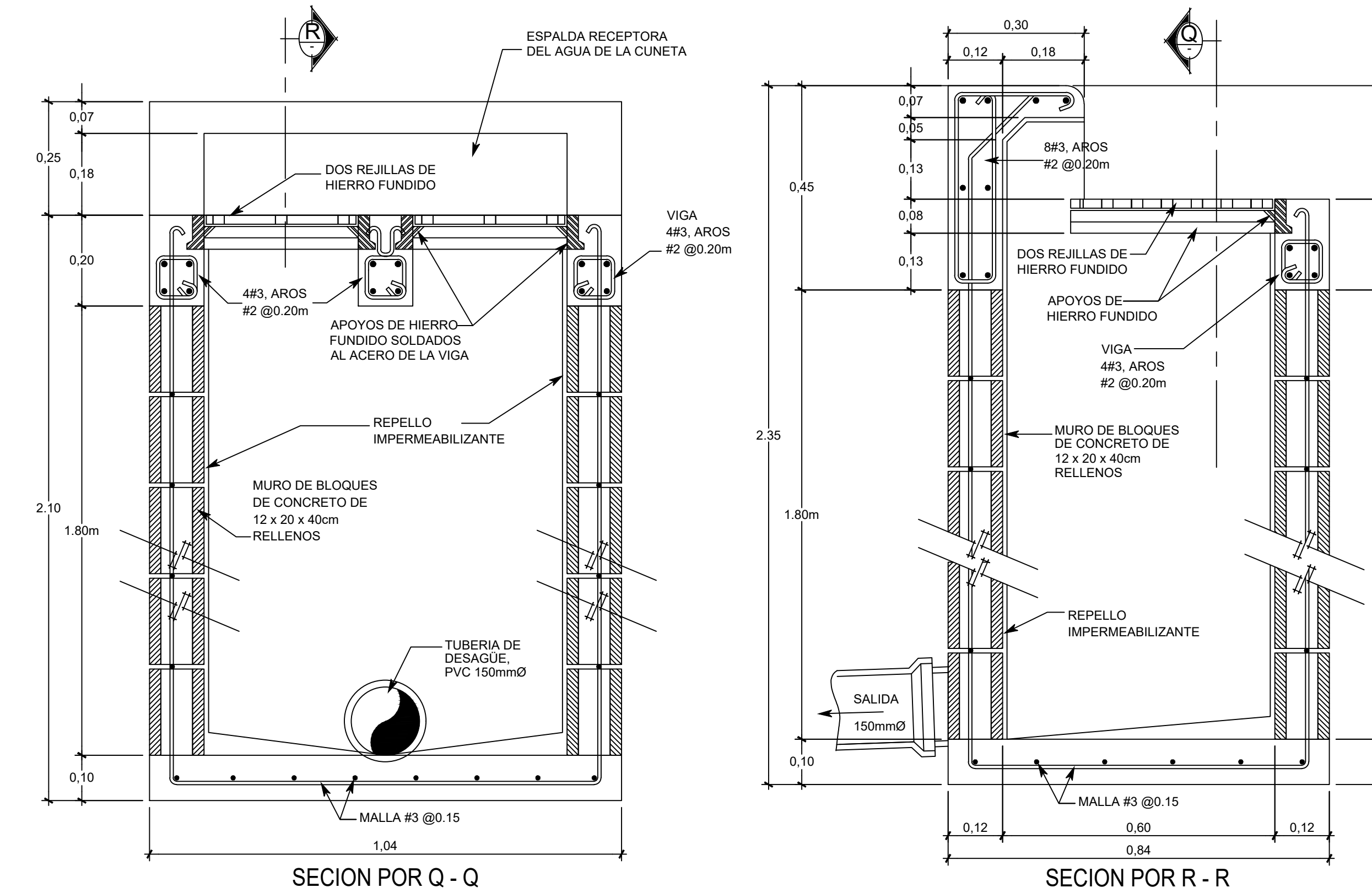
ESCALA	FECHA	LAMINA
INDICADA		1



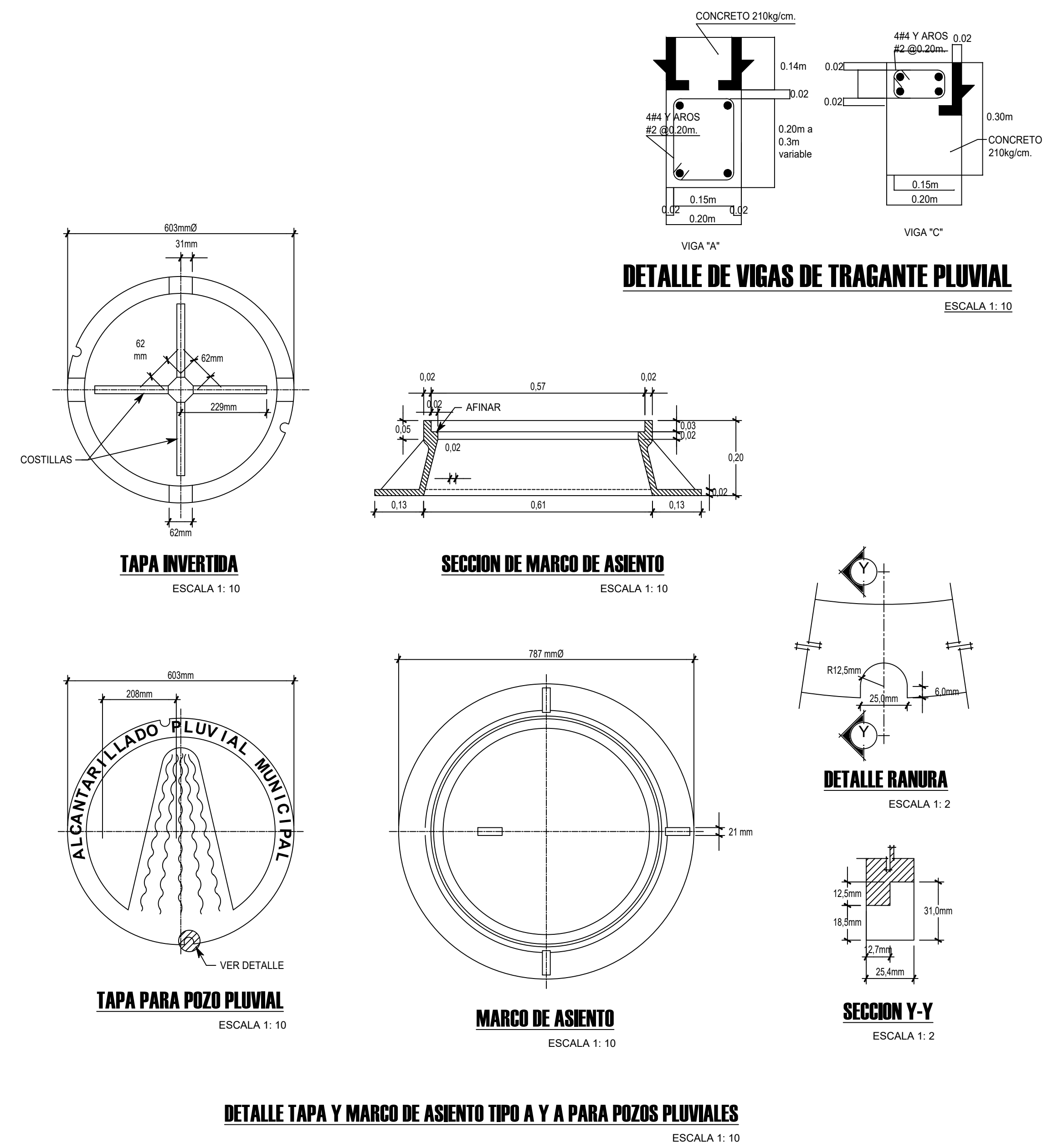
UBICACION DE TUBERIAS Y PREVISTAS DOMICILIARIAS
ESCALA 1:25



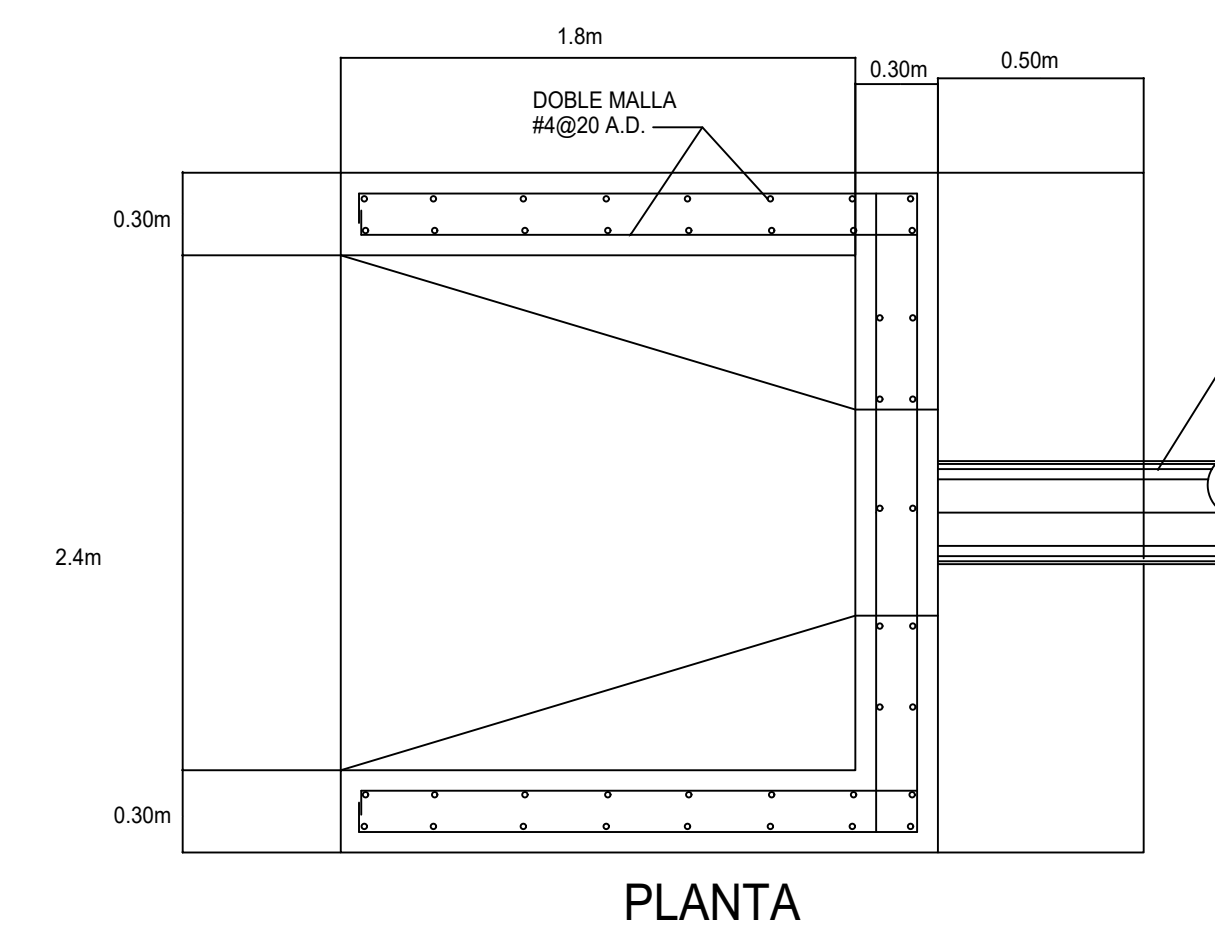
PLANTA



DETALLE DE TRAGANTE PLUVIAL
ESCALA 1:10

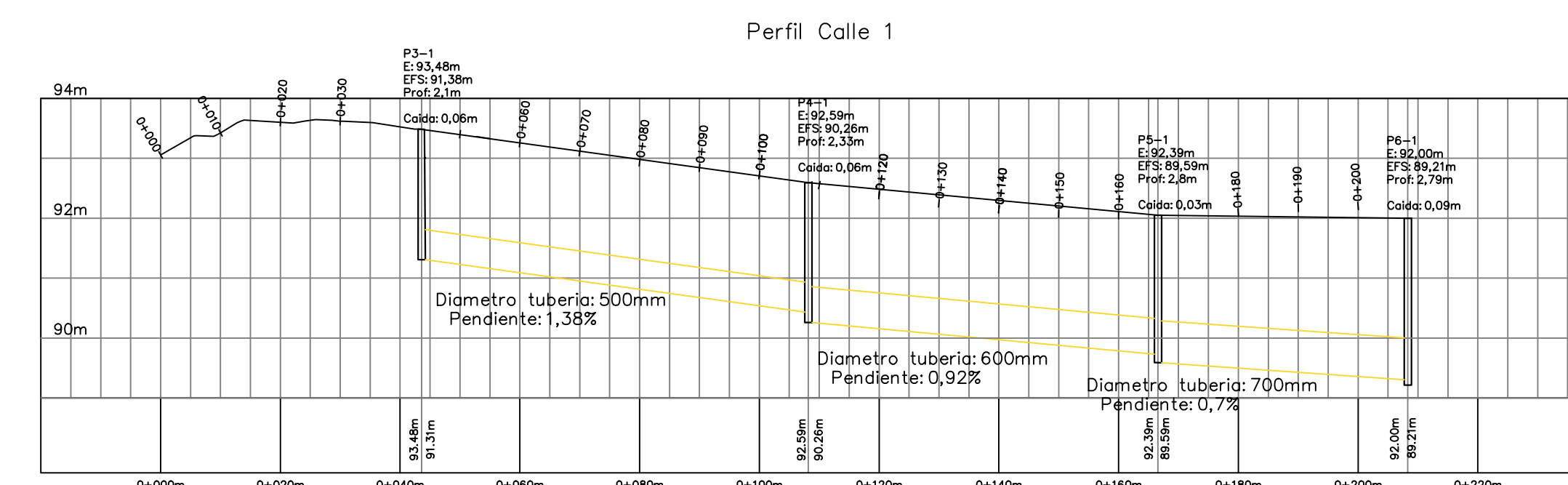
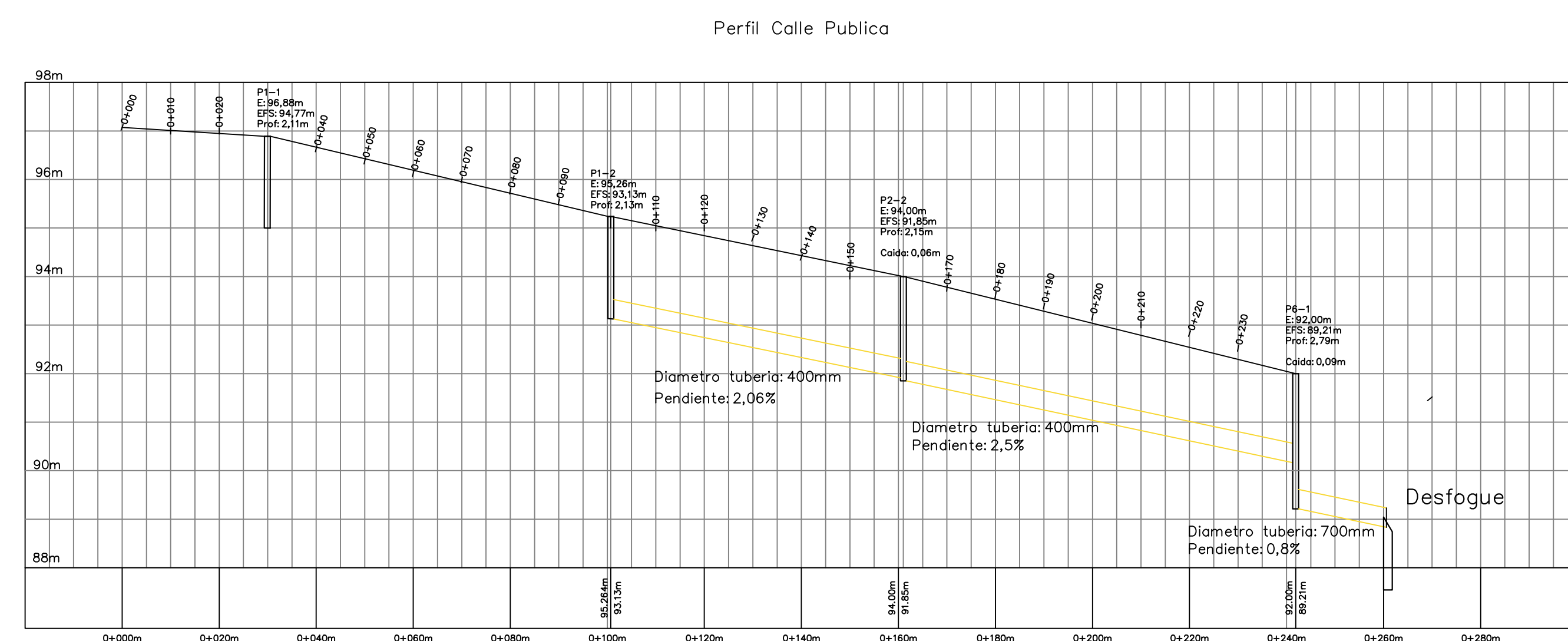
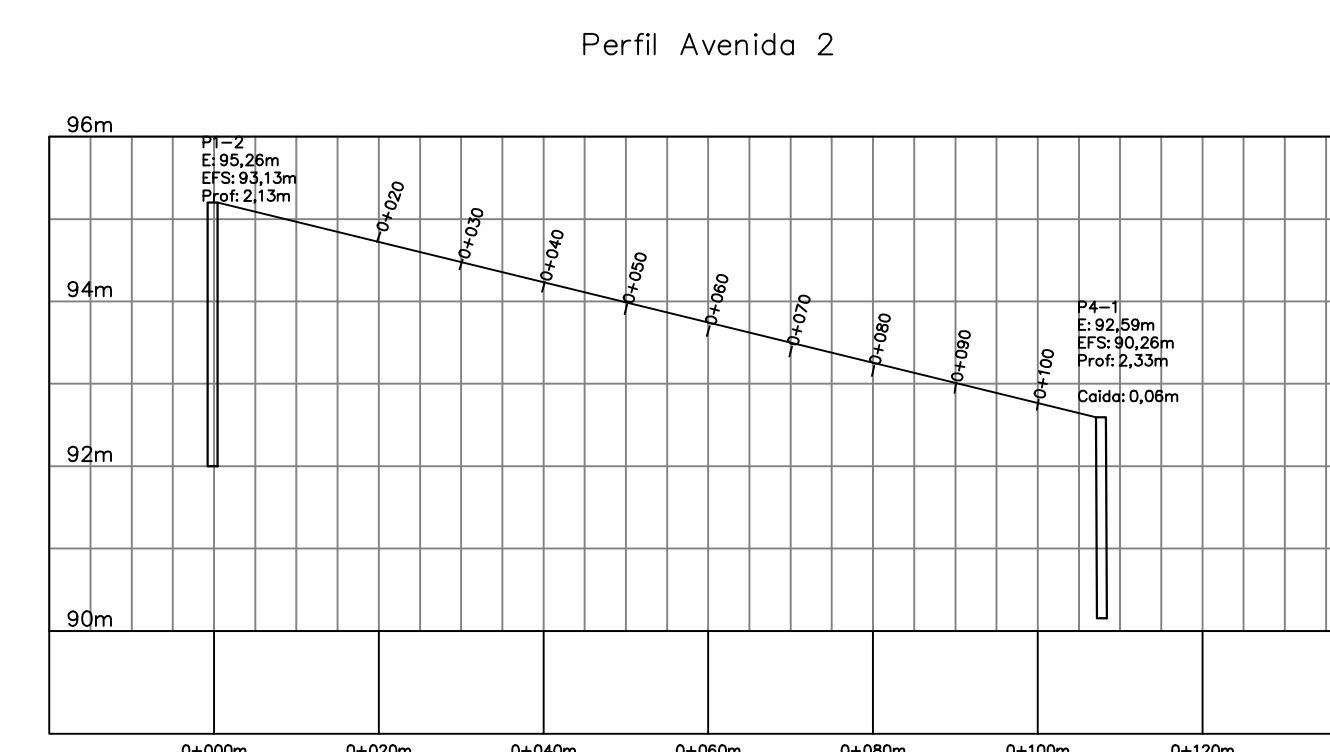
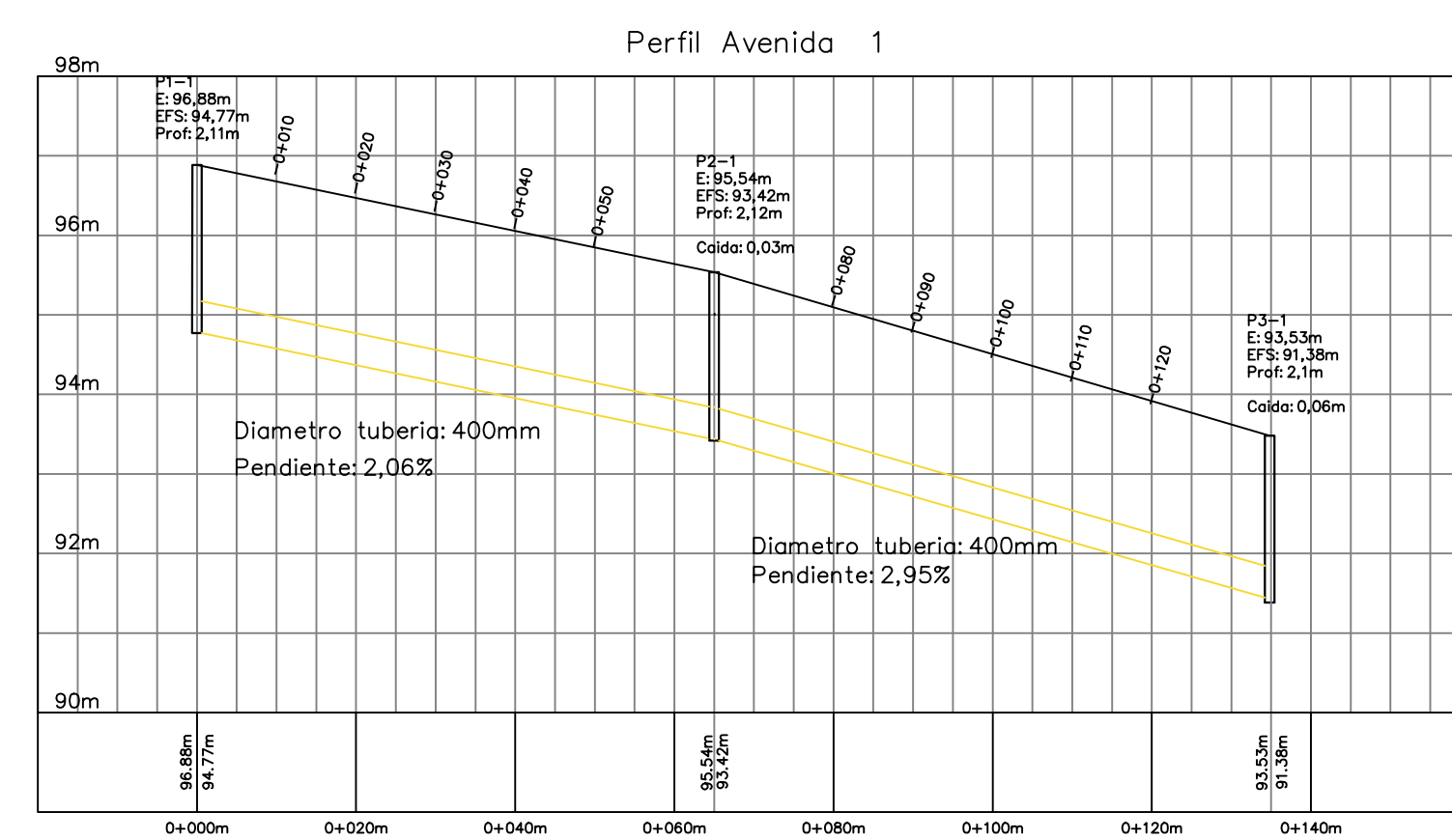
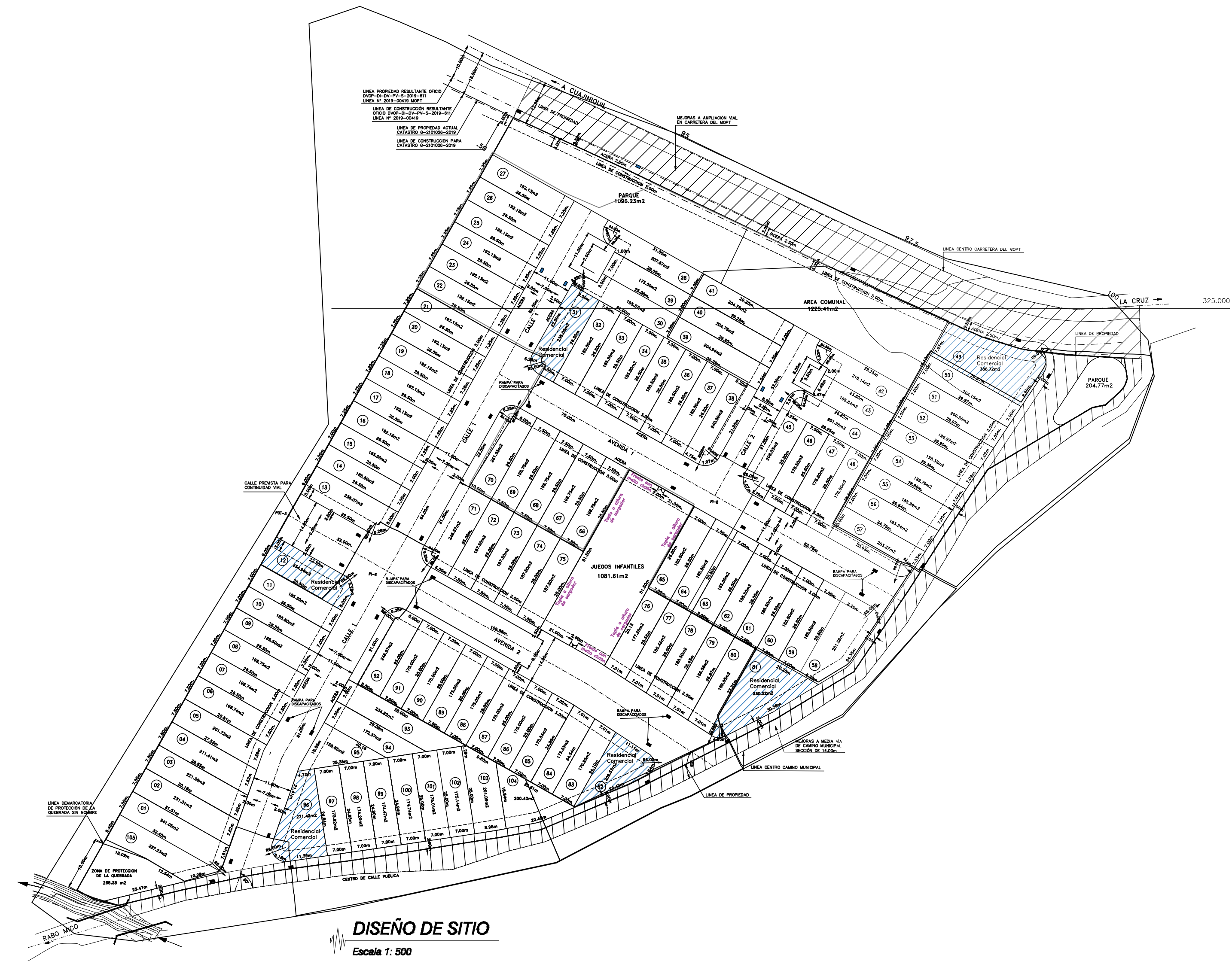
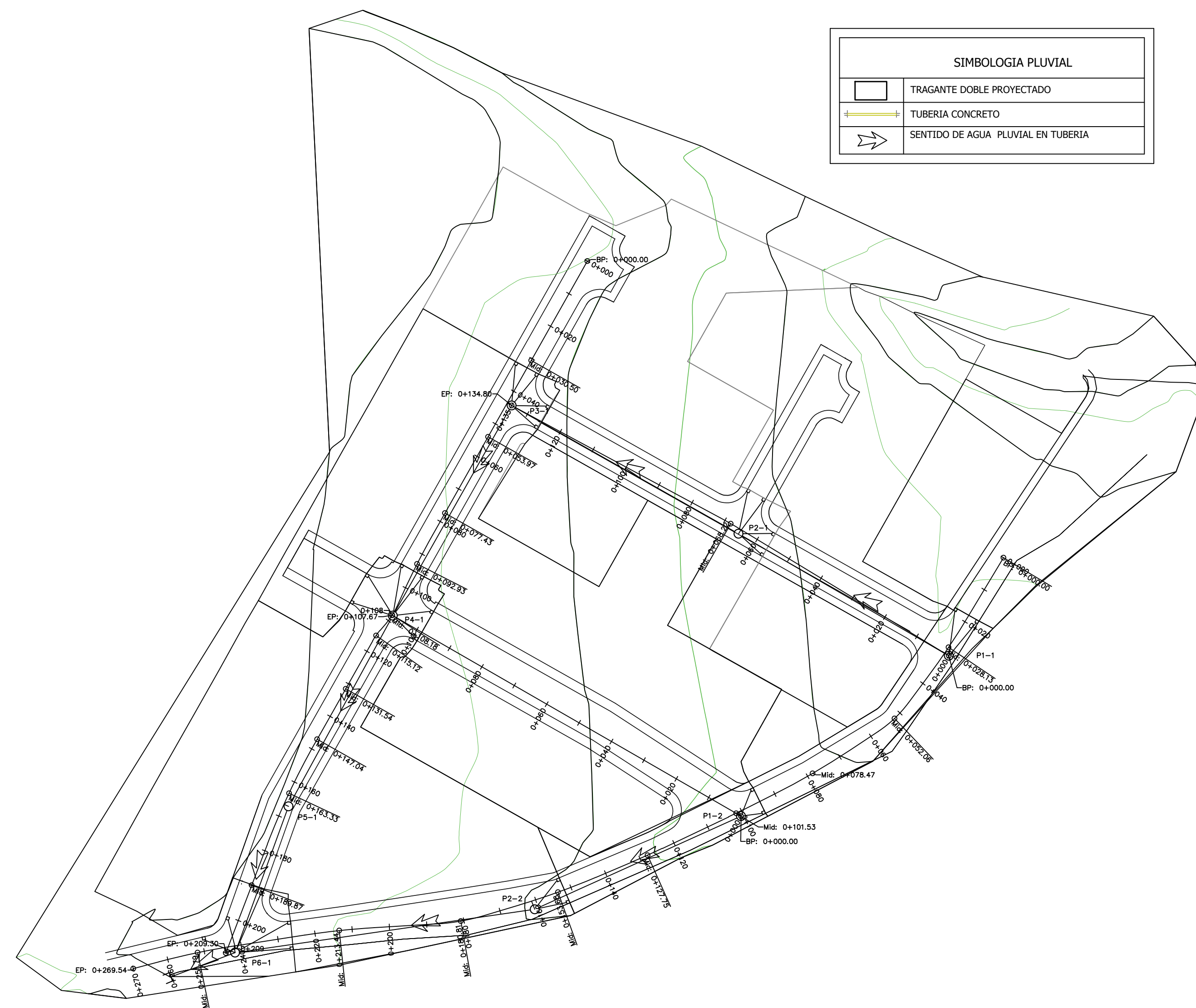
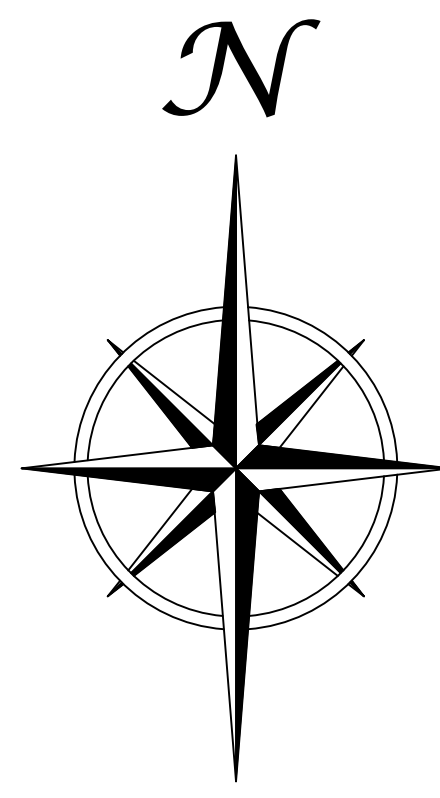


DETALLE TAPA Y MARCO DE ASIENTO TIPO A Y A PARA POZOS PLUVIALES
ESCALA 1:10



DETALLE DE CABEZAL DE CONCRETO PARA DESFOQUES AL RIO
ESCALA 1:20

DERECHOS RESERVADOS		
FECHA ENTREGA:		
REVISIONES		
NUMERO	FECHA	DESCRIPCION
PROYECTO		
CONJUNTO RESIDENCIAL DE INTERES SOCIAL		
NUEVA ESPERANZA		
PROPIETARIO		
PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
GUANACASTE	SANTA CRUZ	SANTA ELENA
DISEÑO		
ARQUITECTO		
ING. CIVIL	Carlos Luis Vargas Vargas	
ING. MECANICO		
ING. ELECTRICO		
DIBUJO		
PROFESIONAL RESPONSABLE DE DISEÑO		
NOMBRE		
FIRMA		
PROFESIONAL RESPONSABLE DIRECCION TECNICA		
NOMBRE		
FIRMA		
INFORMACION DE REGISTRO PUBLICO		
PROPIETARIO		
Nº CATASTRO		
SITAS		
CONTENIDO		
- DETALLES CONSTRUCTIVOS		
ESCALA	FECHA	LAMINA
		2



DERECHOS RESERVADOS

FECHA ENTREGA:

REVISIONES		
NUMERO	FECHA	DESCRIPCION

PROYECTO

CONJUNTO RESIDENCIAL DE INTERES SOCIAL

NUEVA ESPERANZA

PROPIETARIO

PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
GUANACASTE	SANTA CRUZ	SANTA ELENA

DISEÑO

ARQUITECTO

ING. CIVIL Carlos Luis Vargas Vargas

ING. MECANICO

ING. ELECTRICO

DIBUJO

PROFESIONAL RESPONSABLE DE DISEÑO

NOMBRE _____ N° REG _____

PROFESIONAL RESPONSABLE DIRECCION TECNICA

NOMBRE _____ N° REG _____

INFORMACION DE REGISTRO PUBLICO

PROPIETARIO

N° CATASTRO _____

SITAS _____

CONTENIDO

- PERFILES LONGITUDINALES

ESCALA	FECHA	LAMINA

