

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

**PROPUESTA DEL SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO DEL
DISTRITO DE IQUITOS**

Línea de Investigación: Hidráulica

AUTOR:

Br. Geldres Ríos, Mario Orlando

ASESOR:

Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda

TRUJILLO - PERÚ

2020

DEDICATORIA

A toda mi familia, quienes me han apoyado a lo largo de toda mi formación y siempre se preocupan por mí.

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a las personas que contribuyeron al desarrollo del presente trabajo:

Al docente Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda por la asesoría brindada, orientación y apoyo.

A los ingenieros de Seda Loreto que brindaron información necesaria para el desarrollo del proyecto.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, por toda la enseñanza brindada durante toda la duración de la carrera.

A los ingenieros miembros del jurado por el tiempo dedicado al cumplir su labor con este trabajo.

RESUMEN

Iquitos es una ciudad localizada en la provincia de Maynas, en selva peruana. La selva se caracteriza principalmente por su clima, en donde las lluvias son bastante comunes según la época del año. Como es lógico, durante las temporadas de lluvia Iquitos se ve afectada por éstas. Para que las lluvias no sean un problema, es necesario que se construya un drenaje pluvial para la disposición de las aguas pluviales que se depositan en la ciudad. Sin embargo, el sistema de drenaje que Iquitos presenta es un sistema combinado, que intenta drenar aguas residuales y pluviales, y dada la cantidad de agua pluvial que se puede depositar, el sistema actual no es suficiente para el correcto drenaje, por lo que ocurren inundaciones cuando una lluvia supera la capacidad del sistema.

El objetivo principal de este trabajo es proponer un sistema de drenaje pluvial que se encargue de drenar correctamente las aguas pluviales que se depositan en el área de estudio, para ello se busca realizar estudios para poder diseñar el sistema, empleando un modelamiento por computadora.

Con la simulación del comportamiento del sistema propuesto, se busca demostrar que la implementación de este nuevo sistema propuesto beneficiaría al sector de Iquitos para el cual se está diseñando, tanto como a la infraestructura de la ciudad como a la población que se ve afectada.

ABSTRACT

Iquitos is a city located in the province of Maynas, in the Peruvian jungle. The jungle is characterized mainly by its climate, where rains are quite common according to the time of the year. Naturally, during the rainy seasons Iquitos is affected by them. So that the rains are not a problem, it is necessary that a storm drain be built for the disposal of the rainwater that is deposited in the city. However, the drainage system that Iquitos presents is a combined system, which attempts to drain sewage and rainwater, and given the amount of rainwater that can be deposited, the current system is not sufficient for proper drainage, so they occur floods when rain exceeds system capacity.

The main objective of this work is to propose a rain drainage system that is responsible for draining the rainwater that is deposited in the study area correctly, for this purpose, studies are being carried out to be able to design the system, using computer modeling.

With the simulation of the behavior of the proposed system, it is sought to demonstrate that the implementation of this new proposed system would benefit the Iquitos sector for which it is being designed, as well as the infrastructure of the city and the population that is affected.

JURADO EVALUADOR

Presidente

Ing. José Luis Serrano Hernandez

Secretario

Ing. Juan Pablo García Rivera

Vocal

Ing, Juan Manuel Urteaga García

Asesor

Ing. Ricardo Andrés Narváez Aranda

INDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN	V
ABSTRACT	VI
JURADO EVALUADOR	VII
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Problema de la investigación	14
1.1.1. Descripción de la realidad problemática	14
1.1.2. Formulación del problema	15
1.2. Objetivos	15
1.2.1. Objetivo general	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación del estudio	15
2. MARCO DE REFERENCIA	16
2.1. Antecedentes del estudio	16
2.2. Marco teórico	17
2.2.1. Cuenca hidrográfica	17
2.2.2. Alcantarillado pluvial	18
2.2.3. Sistemas de alcantarillado pluvial	19
2.2.4. Consideraciones para el diseño	26
2.2.5. Estadística hidrológica	27
2.2.6. Periodo de retorno	28
2.2.7. Análisis de frecuencia usando factores de frecuencia	29
2.2.8. Distribución normal	30
2.2.9. Distribución log normal	31
2.2.10. Distribución log Pearson tipo III	31
2.2.11. Distribución gumbell	32
2.2.12. Pruebas de bondad de ajuste	33
2.2.13. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de precipitación	34
2.2.14. Hidrograma	35
2.2.15. Hietograma de diseño	35
2.2.16. Método racional	36
2.2.17. Modelamiento hidrológico	37

2.2.18.	Modelo de simulación EPA SWMM 5.0	38
2.3.	Marco conceptual	39
2.4.	Sistema de hipótesis	40
2.4.1.	Variables e indicadores	40
3.	METODOLOGÍA EMPLEADA	41
3.1.	Tipo y nivel de investigación	41
3.1.1.	Tipo de investigación	41
3.1.2.	Nivel de investigación	41
3.2.	Población y muestra del estudio	41
3.2.1.	Población	41
3.2.2.	Muestra	41
3.3.	Diseño de investigación.....	42
3.4.	Técnicas e instrumentos de investigación.....	42
3.5.	Procesamiento y análisis de datos	43
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	43
4.1.	Propuesta de investigación.....	43
4.1.1.	Sistema de drenaje pluvial del distrito de Iquitos	43
4.1.1.1.	Obligatoriedad de drenaje pluvial.....	43
4.1.1.2.	Estado actual del alcantarillado pluvial de la ciudad de Iquitos	44
4.1.1.3.	Problemática con el mantenimiento del alcantarillado.....	47
4.1.2.	Estudio topográfico.....	48
4.1.2.1.	Objetivo del estudio.....	48
4.1.2.2.	Metodología.....	48
4.1.2.3.	Reconocimiento del área de Estudio.....	50
4.1.2.4.	Procedimiento de trabajo.....	50
4.1.3.	Estudio hidrológico	50
4.1.3.1.	Objetivo del estudio.....	50
4.1.3.2.	Recopilación de datos.....	50
4.1.3.3.	Periodo de retorno.....	51
4.1.3.4.	Precipitación máxima de diseño.....	51
4.1.3.5.	Hietograma de diseño.....	54
4.1.4.	Cuencas del distrito.....	56

4.2.	Modelamiento por el software SWMM	57
4.2.1.	Sistema de alcantarillado existente	57
4.2.1.1.	Ingreso de datos	57
4.2.1.2.	Resultados.....	60
4.2.2.	Alcantarillado pluvial propuesto.....	61
4.2.2.1.	Delimitación de las áreas tributarias.....	61
4.2.2.2.	Configuración de los valores por defecto.....	62
4.2.2.3.	Dibujo de los objetos.....	64
4.2.2.4.	Infiltración.....	65
4.2.2.5.	Modelo de la simulación	66
4.2.2.6.	Características de las áreas tributarias.....	67
4.2.2.7.	Características de los conductos	69
4.2.2.8.	Opciones de la simulación	71
4.2.3.	Datos del modelamiento.....	73
4.2.3.1.	Áreas tributarias.....	73
4.2.3.2.	Infiltración.....	76
4.2.3.3.	Nudos	76
4.2.3.4.	Descargas.....	79
4.2.3.5.	Conductos.....	79
4.2.3.6.	Secciones	81
4.3.	Análisis e interpretación de resultados	83
4.3.1.	Resultados de la simulación	84
4.3.2.	Perfiles de lámina de agua.....	95
4.3.3.	Análisis de resultados	105
5.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	106
6.	CONCLUSIONES.....	107
7.	RECOMENDACIONES.....	107
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
9.	ANEXOS.....	111

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación gráfica de un drenaje pluvial	18
Figura 2: Valores críticos d para la prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	34
Figura 3: Ejemplo de curva IDF.....	35
Figura 4: Hietograma de diseño empleando el método del bloque alterno.....	36
Figura 5: Distrito de Iquitos	42
Figura 6: cuneta al borde de la pista	44
Figura 7: sumidero lateral de sardinel sin depresión	44
Figura 8: inundación producida luego de una lluvia de corta duración (29 de junio del 2019).....	45
Figura 9: aguas pluviales drenándose hacia el alcantarillado sanitario.....	46
Figura 10: canal abierto perteneciente al alcantarillado sanitario luego de una lluvia	46
Figura 11: canal abierto perteneciente al alcantarillado sanitario en un día sin lluvia	46
Figura 12: basura acumulada cerca a la cuneta	47
Figura 13: basura acumulada cerca a la cuneta	48
Figura 14: Curva de Intensidad Duración Frecuencia	54
Figura 15: Hietograma de diseño.....	56
Figura 16: Cuencas del proyecto	56
Figura 17: Modelo del alcantarillado existente	57
Figura 18: opciones de simulación alcantarillado existente.....	59
Figura 19: Áreas tributarias del proyecto.....	61
Figura 20: Etiquetas por defecto	62
Figura 21: Características de las áreas por defecto	63
Figura 22: Características de los nudos y conductos por defecto.....	63
Figura 23: Objetos que conforman el sistema dibujados en el programa	64
Figura 24: Secciones transversales disponibles.....	69
Figura 25: Opciones generales	71
Figura 26: Opciones de fecha	72
Figura 27: Opciones de paso de tiempo	72
Figura 28: Opciones de onda dinámica	72
Figura 29: perfil de lámina de agua del nudo P49 a la descarga D1	95
Figura 30: perfil de lámina de agua del nudo P5 al nudo P3.....	95
Figura 31: perfil de lámina de agua del nudo P4 al nudo P7.....	96
Figura 32: perfil de lámina de agua del nudo P10 al nudo P8	96
Figura 33: perfil de lámina de agua del nudo P15 al nudo P13	96

Figura 34: perfil de lámina de agua del nudo P14 al nudo P13	97
Figura 35: perfil de lámina de agua del nudo P17 al nudo P16	97
Figura 36: perfil de lámina de agua del nudo P18 al nudo P16	97
Figura 37: perfil de lámina de agua del nudo P23 al nudo P19	98
Figura 38: perfil de lámina de agua del nudo P25 al nudo P20	98
Figura 39: perfil de lámina de agua del nudo P27 al nudo P26	98
Figura 40: perfil de lámina de agua del nudo P32 al nudo P28	99
Figura 41: perfil de lámina de agua del nudo P41 al nudo P30	99
Figura 42: perfil de lámina de agua del nudo P40 al nudo P30	99
Figura 43: perfil de lámina de agua del nudo P40 al nudo P30	100
Figura 44: perfil de lámina de agua del nudo P36 al nudo P34	100
Figura 45: perfil de lámina de agua del nudo P43 al nudo P44	100
Figura 46: perfil de lámina de agua del nudo P50 a la descarga D2	101
Figura 47: perfil de lámina de agua del nudo P80 a la descarga D3	101
Figura 48: perfil de lámina de agua del nudo P67 al nudo P52	102
Figura 49: perfil de lámina de agua del nudo P74 al nudo P54	102
Figura 50: perfil de lámina de agua del nudo P76 al nudo P73	102
Figura 51: perfil de lámina de agua del nudo P71 al nudo P55	103
Figura 52: perfil de lámina de agua del nudo P60 al nudo P72	103
Figura 53: perfil de lámina de agua del nudo P56 al nudo P60	103
Figura 54: perfil de lámina de agua del nudo P57 al nudo P58	104
Figura 55: perfil de lámina de agua del nudo P54 al nudo P61	104
Figura 56: perfil de lámina de agua del nudo P78 al nudo P62	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitaciones máximas por mes de la estación Punchana.....	51
Tabla 2: Valores de Δ para cada distribución	52
Tabla 3: Parámetros de distribución para Log Gumbel.....	53
Tabla 4: Factores de frecuencia para distintos periodos de retorno	53
Tabla 5: Precipitaciones máximas según su periodo de retorno	53
Tabla 6: Ecuación de curva representativa para un periodo de retorno de 25 años.....	54
Tabla 7: Serie temporal de una precipitación de 6 horas de duración.....	55
Tabla 8: Coeficiente de variación.....	58
Tabla 9: Resultados de escorrentía superficial del alcantarillado existente.....	60
Tabla 10: Resultados del cálculo hidráulico del alcantarillado existente	60
Tabla 11: Características del suelo	66
Tabla 12: Coeficiente n de manning para escorrentía superficial.....	67
Tabla 13: Valores Típicos de Almacenamiento en Depresión	68
Tabla 14: Coeficiente de manning para flujo en conductos cerrados	70
Tabla 15: Características de las áreas tributarias del proyecto	73
Tabla 16: Parámetros de infiltración método Green-Ampt.....	76
Tabla 17: Características de nudos.....	77
Tabla 18: Resumen de descargas.....	79
Tabla 19: Características de los conductos	79
Tabla 20: Secciones de los conductos:	81
Tabla 21: Escorrentía superficial.....	84
Tabla 22: Cálculo hidráulico.....	85
Tabla 23: Resumen de escorrentía en las áreas tributarias.....	85
Tabla 24: Resumen del nivel de nudos.....	88
Tabla 25: Aporte en nudos.....	90
Tabla 26: Resumen de vertidos	92
Tabla 27: Caudal y velocidad en los conductos	93
Tabla 28: Comparación de resultados del análisis de escorrentía superficial.....	105
Tabla 29: Comparación de resultados del análisis hidráulico	105

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de la investigación

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

En el Perú, uno de los departamentos donde se registra la mayor cantidad de lluvias es el departamento de Loreto, por tal motivo en las ciudades que se ubican en dicha localidad son generalmente golpeadas por lluvias intensas que pueden generar daños a las ciudades. Como lo dice la norma OS.060, en localidades donde se produzcan precipitaciones frecuentes con lluvias iguales o mayores a 10mm en 24 horas debe contar con un sistema de alcantarillado pluvial. (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2006)

Tal es el caso de Iquitos, ubicado en la provincia de Maynas, que con 178mm de lluvia promedio en el mes más seco y 295mm en el mes de más lluvias, se ha tenido que implementar un sistema de drenaje pluvial urbano para la evacuación de las aguas pluviales que se acumulan en la zona.

Debido a la poca efectividad que el sistema tuvo en algunos sectores, en el 2012 se planteó el proyecto “Mejoramiento, ampliación del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Iquitos” que estaría terminado a mediados del año 2016, sin embargo, solo se implementaron algunas mejoras para el desagüe de la ciudad, dejando al drenaje pluvial sin cambios.

En consecuencia, las calles de Iquitos sufren de inundaciones cada vez que se produce una lluvia intensa, perjudicando a las familias que residen en las zonas más afectadas. (Carbajal, 2018)

Por tal motivo, es necesario el diseño de un sistema de drenaje pluvial que sea capaz de drenar toda la escorrentía generada por las lluvias de la zona, para lo cual se plantea el uso de un software de simulación de precipitaciones en el diseño y así evitar las inundaciones que se producen.

1.1.2. Formulación del problema

¿Favorece al distrito de Iquitos el planteamiento de un nuevo diseño de drenaje pluvial?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta del sistema de drenaje pluvial en el distrito de Iquitos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir el estado actual del sistema de drenaje pluvial existente en el distrito de Iquitos.
- Determinar los parámetros hidrológicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial.
- Determinar los parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de drenaje pluvial.
- Evaluar el drenaje pluvial del distrito de Iquitos.
- Plantear el diseño de un sistema de drenaje pluvial óptimo.
- Comparar el comportamiento hidráulico del drenaje pluvial existente con el diseño planteado.

1.3. Justificación del estudio

La importancia del presente proyecto se da por la necesidad de solventar las deficiencias del drenaje pluvial del distrito de Iquitos, además de que no es un problema exclusivo de dicha localidad, sino que es algo recurrente en las localidades de la selva peruana, en donde se siguen presentando inundaciones por la lluvia a pesar de que se implementan sistemas de drenaje.

Además, aparte de plantear una solución al problema de afecta al distrito de Iquitos, se evaluarán las fallas del drenaje existente, las cuales también se cometen en otras localidades de la selva peruana, las cuales se deben considerar para futuros proyectos.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

- Rojas y Humpiri (2016) en la tesis “Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con la aplicación del software SWMM”, evalúan el proyecto ya existente “DRENAJE PLUVIAL DE LA CIUDAD DE JULIACA” en el cual se habían encontrado irregularidades en la aprobación del expediente técnico las cuales no fueron solventadas, comparando los resultados del proyecto existente con un nuevo diseño ejecutado con un nuevo enfoque; todo con el objetivo de optimizar el sistema de drenaje existente. Para la verificación de la eficiencia del diseño previamente planteado utilizaron el software SWMM para la simulación hidráulica del sistema de drenaje, comprobando finalmente que el previo diseño del drenaje pluvial fue realizado con sustentos técnicos deficientes.
- Granda-Acha (2013) en la tesis “Análisis numérico de la red de drenaje pluvial le la urb. Angamos”, plantea el análisis de una red de drenaje en la ciudad de Piura a través de un modelo numérico que simule el evento de lluvia-escorrentía. Con el modelo numérico SWMM evalúa el riesgo de inundación debido a las lluvias en situaciones normales y durante el fenómeno del niño, período en el cual concluye que las calles serían inundadas. Concluye además que la aplicación del modelo SWMM ofrece modelos más refinados que la implementación del método racional, el cual exige la norma OS.060.
- Cuti (2018) en la tesis “Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco”, busca optimizar el manejo racional

del agua de lluvia en la ciudad de Espinar para evitar daños en las edificaciones y obras públicas, implementando un sistema de obras de infraestructura hidráulica para la evacuación de las aguas pluviales. Una de las conclusiones del presente trabajo demuestra que la obtención de datos exactos puede ser dificultosa por la inexactitud de los pluviómetros, sin embargo, es posible la obtención de datos coherentes con la metodología Dick Peachke para la determinación de la lluvia de diseño. Igualmente, los análisis de datos se efectuaron con el software SWMM para evaluar el comportamiento de los colectores.

- Chávez (2010) en la tesis “Diseño del drenaje pluvial de la localidad de Pilluana provincia de Picota región San Martín”, debido al crecimiento acelerado de la ciudad de Piullana y la falta de infraestructura de drenaje pluvial que brinde normal desarrollo a las actividades urbanas producto de las constantes lluvias que se producen con frecuencia en dicha zona, el autor tiene como objetivo el ordenamiento del drenaje pluvial en la zona urbana de la localidad de Piullana, para evitar los daños que las precipitaciones pluviales de gran intensidad generan en la localidad. Por medio de la distribución de gumbell el autor calcula la precipitación de diseño para un período de 50 años, y los caudales de diseño para las obras de drenaje con el método racional, conforme con lo establecido en la norma OS.060.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es una superficie terrestre en donde las aguas pluviales son drenadas hacia un solo punto de salida.

Según Villón (2002)

La cuenca de drenaje de una corriente es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo

curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido. (p.21)

2.2.2. Alcantarillado pluvial

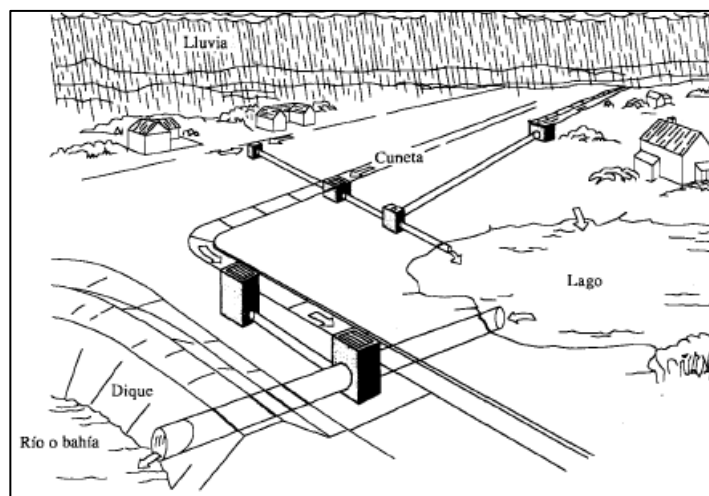
Es una red de alcantarillado construida específicamente para la recolección y drenaje de aguas pluviales, de tal forma que se eviten inundaciones en la zona urbana en donde se implementa

Según Sánchez (2018)

La evacuación de este tipo de aguas a través del alcantarillado funciona por gravedad, es decir, recolectando el caudal en la parte más elevada de la estructura y conduciéndolo a través de una tubería hacia la parte más baja, la cual dispone finalmente el flujo de agua en algún canal natural, río, lago, etc., ya que se consideran aguas “limpias”.

Los alcantarillados pluviales deben estar compuestos por tuberías únicamente para direccionar este tipo de aguas y no para conducir otras de tipo industrial o sanitario por temas de contaminación y manejo ambiental, la recolección se realiza por medio de sumideros u otras estructuras que redirigen el agua de manera adecuada. (p.8)

Figura 1: Representación gráfica de un drenaje pluvial



Fuente: Chow, Maidment, & Mays, 1994, p. 507

2.2.3. Sistemas de alcantarillado pluvial

Los sistemas del alcantarillado pluvial se agrupan según la función que desempeñan.

A. Estructuras de captación

Se encargan de recolectar las aguas pluviales que se acumulan en las calles, se utilizan sumideros y además pueden existir conexiones domiciliarias.

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Consisten en bocas de tormenta, que son las estructuras que recolectan el agua que escurre sobre la superficie del terreno y la conducen al sistema de atarjeas. Se ubican a cierta distancia en las calles con el fin de interceptar el flujo superficial, especialmente aguas arriba del cruce de calles y avenidas de importancia; también se les coloca en los puntos bajos del terreno, donde pudiera acumularse el agua.

Están constituidas por una caja que funciona como desarenador donde se depositan las materias pesadas que arrastra el agua y por una coladera con su estructura de soporte que permite la entrada del agua de la superficie del terreno al sistema de la red de atarjeas mediante una tubería de concreto a la que se le denomina albañal pluvial. La coladera evita el paso de basura, ramas y otros objetos que pudieran taponar los conductos de la red. Existen varios tipos de bocas de tormenta, a los cuales se acostumbra llamarles coladeras pluviales: las de piso, de banqueteta. combinadas, longitudinales y transversales.

Las coladeras de piso se instalan formando parte del pavimento al mismo nivel de su superficie y las de banqueteta se construyen formando parte de la guarnición. Cuando se requiere captar mayores gastos, puede hacerse una combinación de ambas.

Las coladeras longitudinales son un tipo especial de las de banqueta.

La selección de alguna de ellas o de alguna de sus combinaciones depende exclusivamente de la pendiente longitudinal de las calles y del caudal por recolectar. En ocasiones, se les combina con una depresión del espesor del pavimento para hacerlas más eficientes. (p.21)

B. Estructuras de conducción

Transportan las aguas recolectadas hacia el lugar de vertido, se forman con conductos cerrados (tuberías) o conductos abiertos (canales).

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Son todas aquellas estructuras que transportan las aguas recolectadas por las bocas de tormenta hasta el sitio de vertido. Se pueden clasificar ya sea de acuerdo a la importancia del conducto dentro del sistema de drenaje o según el material y método de construcción del conducto que se utilice.

Según la importancia del conducto dentro de la red, los conductos pueden ser clasificados como atarjeas, subcolectores, colectores y emisores. Se le llama atarjeas o red de atarjeas a los conductos de menor diámetro en la red, a los cuales descargan la mayor parte de las estructuras de captación. Los subcolectores son conductos de mayor diámetro que las atarjeas, que reciben directamente las aportaciones de dos o más atarjeas y las conducen hacia los colectores.

Los colectores son los conductos de mayor tamaño en la red y representan la parte medular del sistema de alcantarillado. También se les llama interceptores, dependiendo de su acomodo en la red. Su función es reunir el agua recolectada por los subcolectores y llevarla hasta el punto de salida de la red e inicio del emisor.

El emisor conduce las aguas hasta el punto de vertido o tratamiento. Una red puede tener más de un emisor

dependiendo del tamaño de la localidad. Se le distingue de los colectores porque no recibe conexiones adicionales en su recorrido.

Por otra parte, los conductos pueden clasificarse de acuerdo al material que los forma y al método de construcción o fabricación de los mismos. Desde el punto de vista de su construcción, existen dos tipos de conductos: los prefabricados y los que son hechos en el lugar. (p. 11, 12)

C. Estructuras de conexión y mantenimiento

Sirven para realizar la conexión de varias tuberías, de cualquier tamaño o material. Se emplean también para realizar el mantenimiento y la limpieza del sistema.

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Son estructuras subterráneas construidas hasta el nivel del suelo o pavimento, donde se les coloca una tapa. Su forma es cilíndrica en la parte inferior y tronco cónico en la parte superior, y son lo suficientemente amplias como para que un hombre baje a ellas y realice maniobras en su interior, ya sea para mantenimiento o inspección de los conductos. El piso es una plataforma con canales que encauzan la corriente de una tubería a otra, y una escalera marina que permite el descenso y ascenso en la desembocadura a la superficie y una tapa perforada, ya sea de hierro fundido o de concreto armado cubre la boca.

Se les conoce como pozos de visita o cajas de visita según sus dimensiones. Este tipo de estructuras facilitan la inspección y limpieza de los conductos de una red de alcantarillado, y también permite la ventilación de los mismos. Su existencia en las redes de alcantarillado es vital para el sistema, pues sin ellas, estos se taponarían y su reparación podría ser complicada y costosa.

Para dar mantenimiento a la red, los pozos de visita se ubican al inicio de las atarjeas, en puntos donde la tubería cambia de diámetro, dirección o de pendiente y también donde se requiere la conexión con otras atarjeas, subcolectores o colectores. Por regla los pozos de visita en una sola tubería no se colocan a intervalos mayores de 125 a 175 m dependiendo de los diámetros de las tuberías a unir.

Existen varios tipos de pozos de visita que se clasifican según la función y dimensiones de las tuberías que confluyen en los mismos e incluso del material de que están hechos. Así se tienen: pozos comunes de visita, pozos especiales de visita, pozos para conexiones oblicuas, pozos caja, pozos caja unión, pozos caja de deflexión, pozos con caída (adosada, normal y escalonada). Las especificaciones para su construcción se indican en el capítulo correspondiente. Además, en el tema referente al diseño de redes se señala cuando se debe instalar cada uno de ellos.

Los pozos de visita usuales se fabrican con ladrillo y concreto. También existen pozos de visita prefabricados de concreto reforzado, fibrocemento y de polietileno. Los pozos permiten la conexión de tuberías de diferentes diámetros o materiales, siendo los pozos comunes para diámetros pequeños y los pozos caja para diámetros grandes. Las uniones entre tuberías se resuelven en el pozo de varias formas, las cuales se especifican en el capítulo correspondiente a diseño. (p.14, 15)

D. Estructuras de vertido

Son las estructuras terminales, permiten la descarga de las aguas pluviales recolectadas protegiendo a la tubería de daños causados por el flujo de la tubería o la corriente hacia donde se descarga.

1) Estructuras de vertido en conducto cerrado

Cuando la conducción por el emisor de una red de alcantarillado es entubada y se requiere verter las aguas a una corriente receptora que posea cierta velocidad y dirección, se utiliza una estructura que encauce la descarga directa a la corriente receptora y proteja al emisor de deslaves y taponamientos. Este tipo de estructuras de descarga se construyen con mampostería. (Comisión Nacional del Agua, 2007, p.15)

2) Estructuras de vertido en canal a cielo abierto

En este caso, la estructura de descarga consiste en un canal a cielo abierto hecho con base en un zampeado de mampostería, cuyo ancho se incrementa gradualmente hasta la corriente receptora. De esta forma se evita la socavación del terreno natural y se permite que la velocidad disminuya. (Comisión Nacional del Agua, 2007, p.16)

E. Instalaciones complementarias

Son las estructuras que no necesariamente deben formar parte de un alcantarillado pluvial, pero que en casos especiales son fundamentales para el correcto funcionamiento.

1) Estaciones de bombeo

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Una estación de bombeo se compone de un cárcamo de bombeo o tanque donde las aguas son descargadas por el sistema de alcantarillado y a su vez son extraídas por un conjunto de bombas cuya función es elevar el agua hasta cierto punto para vencer desniveles y continuar la conducción hasta el vertido final. Se utilizan cuando:

- a) La elevación donde se concentra el agua está por debajo de la corriente natural de drenaje o del colector existente.
- b) Por condiciones topográficas no es posible drenar por gravedad el área por servir hacia el colector principal, debido a que ella se encuentra fuera del parteaguas de la zona a la que sirve el colector.
- c) Los costos de construcción son muy elevados debido a la profundidad a la que se instalarán los colectores o el emisor a fin de que funcionen por gravedad. (p.16)

2) Vertedores

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Un vertedor es una estructura hidráulica que tiene como función la derivación hacia otro cauce del agua que rebasa la capacidad de una estructura de conducción o de almacenamiento.

Su uso en los sistemas de alcantarillado se combina con otras estructuras tales como canales o cajas de conexión, y es propiamente lo que se denomina como una estructura de control. Por ejemplo, cuando se conduce cierto gasto de aguas

pluviales o residuales hacia una planta de tratamiento con cierta capacidad y ésta es rebasada debido a la magnitud de una tormenta, el exceso es controlado por medio de un vertedor que descarga hacia un conducto especial (usado solamente en estos casos), que lleva el agua en exceso hacia su descarga a una corriente. (p.16, 17)

3) Estructuras de cruce

Según la Comisión Nacional del Agua (2007):

Una estructura de cruce permite el paso de la tubería por debajo o sobre obstáculos que de otra forma impedirían la construcción de una red de alcantarillado. Entre estas se tienen:

- a) Sifones invertidos. Es una estructura de cruce que permite durante la construcción de un colector o emisor salvar obstrucciones tales como arroyos, ríos, otras tuberías, túneles, vías de comunicación (pasos vehiculares a desnivel), etc., por debajo del obstáculo.
- b) Cruces elevados. Cuando un trazo tiene que cruzar una depresión profunda, se utilizan estructuras ligeras como son puentes de acero, concreto o madera, los cuales soportan la tubería que conduce el agua pluvial. En ocasiones, se utilizan puentes carreteros existentes donde se coloca la tubería anclándola por debajo o a un lado de la estructura.
- c) Alcantarillas pluviales y puentes. Este tipo de estructuras de cruce son regularmente empleadas en carreteras, caminos e incluso en ciertas calles en localidades donde se ha respetado el paso de las corrientes naturales. Son tramos de tubería o conductos que se incorporan en el cuerpo del terraplén de un camino para facilitar el paso de las aguas de las corrientes naturales, o de aquellas conducidas por canales o cunetas, a través del terraplén. Cuando las dimensiones de los conductos son excesivas, es más conveniente el diseño de un puente. (p.17, 18)

F. Disposición final

Según la Comisión Nacional del Agua (2007)

Se le llama disposición final al destino que se le dará al agua captada por un sistema de alcantarillado. En la mayoría de los casos, las aguas se vierten a una corriente natural que pueda

conducir y degradar los contaminantes del agua. En este sentido, se cuenta con la tecnología y los conocimientos necesarios para determinar el grado en que una corriente puede degradar los contaminantes e incluso, se puede determinar el número, espaciamiento y magnitud de las descargas que es capaz de soportar.

Por otra parte, la tendencia actual es tratar las aguas residuales y emplearlas como aguas tratadas o verterlas a las corrientes. También se desarrollan acciones encaminadas al uso del agua pluvial, pues pueden ser utilizadas en el riego de áreas verdes en zonas urbanas, tales como jardines, parques y camellones; o en zonas rurales en el riego de cultivos.

Así, un proyecto moderno de alcantarillado pluvial puede ser compatible con el medio ambiente y ser agradable a la población según el uso que se le dé al agua pluvial. Al respecto, cabe mencionar los pequeños lagos artificiales que son construidos en parques públicos con fines ornamentales. (p.19)

2.2.4. Consideraciones para el diseño

La normativa actual para los sistemas de alcantarillado pluviales (OS.060 del RNE) determina que deben seguirse las siguientes consideraciones básicas para el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial:

- a) Las caudales para sistema mayor deberán ser calculados por los métodos del Hidrograma Unitario o Modelos de Simulación. El Método Racional sólo deberá aplicarse para cuencas menores de 13 Km².
- b) El Período de Retorno no debe ser menor de 25 años.
- c) El caudal que o pueda ser absorbido por el sistema menor, deberá fluir por calles y superficie del terreno.
- d) La determinación de la esorrentía superficial dentro del área de drenaje urbano o residencial producida por la precipitación generada por una tormenta referida a un cierto periodo de retorno

nos permitirá utilizando la ecuación de Manning determinar la capacidad de la tubería capaz de conducir dicho caudal fluyendo a tubo lleno¹.

$$V = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \Rightarrow Q = A \times V \Rightarrow Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

Donde:

V= Velocidad media de desplazamiento (m/s)

R= Radio medio hidráulico (m)

S = Pendiente de la canalización

n= Coeficiente de rugosidad de Manning

A= Sección transversal de la canalización (m²)

Q= Caudal (Escorrentía superficial pico) (m³/s)

- e) Para reducir el caudal pico en las calles, en caso de valores no adecuados, se debe aplicar el criterio de control de la descarga mediante el uso de lagunas de retención (Ponding).
- f) Las Lagunas de Retención son pequeños reservorios con estructuras de descarga regulada, que acumulan el volumen de agua producida por el incremento de caudales pico y que el sistema de drenaje existente no puede evacuar sin causar daños.
- g) Proceso de cálculo en las Lagunas de Retención. Para la evacuación del volumen almacenado a fin de evitar daños en el sistema drenaje proyectado o existente, se aplicarán procesos de cálculo denominados Tránsito a través de Reservorios.
- h) Evacuación del Sistema Mayor. Las vías (calles), de acuerdo a su área de influencia, descargarán, por acción de la gravedad, hacia la parte más baja, en donde se preverá la ubicación de una calle de gran capacidad de drenaje, denominada calle principal o evacuador principal.

2.2.5. Estadística hidrológica

¹ Para la aplicación de la Ecuación de Manning se asume que no hay presión en la tubería.

El diseño y la planeación de obras hidráulicas están siempre relacionadas con eventos hidrológicos futuros, es decir que no se conocen los valores de que las variables hidrológicas que se van a emplear para el diseño. La complejidad de los procesos físicos que alteran estas variables hacen que en la mayoría de los casos sea imposible una estimación confiable por métodos basados en las leyes de la mecánica o la física, sea porque estos métodos son insuficientes o porque el modelo matemático resultante sería exageradamente grande, complicado y difícil de manejar. Por ello, con mucha frecuencia se emplea la probabilidad y la estadística para el análisis hidrológico. (Aparicio Mijares, 1989, pág. 239).

Para que el análisis probabilístico produzca resultados útiles, debe comenzar con una serie de datos significativos, adecuados y precisos. Cuando se dice que los datos son significativos, implica que deben estar relacionados estrechamente con el problema. Por ejemplo, la mayoría de los estudios de crecientes están relacionadas con caudales picos, por lo que la serie de datos consistirá de una selección de caudales pico observados.

La serie de datos debe ser adecuada, refiriéndose primordialmente a la longitud del registro, pero también la escasez de los datos apropiados suele ser un problema. Si la muestra de datos es muy pequeña, las probabilidades obtenidas no resultan ser muy confiables. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977, págs. 281, 282).

2.2.6. Periodo de retorno

El período de retorno de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

En hidrología, normalmente se prefiere trabajar con periodos de retorno

en lugar de probabilidades, pues es un concepto que resulta más claro ya que tiene las mismas unidades que la vida útil de las obras y puede compararse con ésta (Aparicio Mijares, 1989).

Según Chow et al. (1994):

Un evento extremo ocurre si una variable aleatoria X es mayor o igual a un cierto nivel X_T . El intervalo de recurrencia τ es el tiempo entre ocurrencias de $X \geq X_T$.

El período de retorno T de un evento $X \geq X_T$ es el valor esperado de τ para $E(\tau)$. Esta función puede relacionarse con la probabilidad $p = P(X \geq X_T)$ de ocurrencia del evento $X \geq X_T$, donde el valor esperado para τ está dado por:

$$E(\tau) = \sum_{\tau=1}^{\infty} \tau(1-p)^{\tau-1}p$$

Esta función puede simplificarse a la forma:

$$E(\tau) = \frac{1}{p}$$

Es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento en cualquier observación es el inverso de su periodo de retorno:

$$P(X \geq X_T) = \frac{1}{T}$$

2.2.7. Análisis de frecuencia usando factores de frecuencia

La magnitud de X_T de un evento hidrológico extremo puede representarse como la media μ más una desviación ΔX_T de la variable con respecto a la media.

$$X_T = \mu + \Delta X_T$$

Esta desviación con respecto a la media puede expresarse como el producto de la desviación estándar σ y el factor de recurrencia K_T , es decir $\Delta X_T = \sigma K_T$. Por lo tanto, la magnitud X_T puede expresarse como

$$X_T = \bar{x} + K_T S$$

En el evento de que la variable analizada sea $y = \log x$, entonces se aplica el mismo método a las estadísticas para los logaritmos de los datos, utilizando

$$Y_T = \bar{y} + K_T S_y$$

Para el cálculo del factor de recurrencia se suelen emplear funciones de probabilidad como la distribución normal, Pearson tipo III o distribuciones de valor extremo (Chow et al., 1994).

2.2.8. Distribución normal

Según Chow et al. (1994):

La distribución normal surge del teorema del límite central, el cual establece que si una secuencia de variables aleatorias X_i son independientes y están idénticamente distribuidas con media μ y varianza σ^2 , entonces la distribución de la suma de n de estas variables aleatorias, $Y = \sum_{i=1}^n X_i$, tiende a una distribución normal con media $n\mu$ y varianza $n\sigma^2$ a medida que n aumenta.

La función de densidad de probabilidad se expresa de la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Con el rango de $-\infty \leq x \leq \infty$.

Esta función puede simplificarse definiendo la variable normal estándar z como

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Que es la misma ecuación usada para calcular el factor de frecuencia K_T

$$K_T = \frac{X_T - \mu}{\sigma}$$

El cual corresponde a una probabilidad de excedencia de p ($p=1/T$).

Es posible aproximar el valor de z con un error menor que 0.00045 con la fórmula:

$$z = w - \frac{2.515517 + 0.802853w + 0.010328w^2}{1 + 1.432788w + 0.189269w^2 + 0.001308w^3}$$

Cuando $0 < p \leq 0.5$; para el caso en que $p > 0.5$, a z se le asigna un signo negativo.

Cuando $0 < p \leq 0.5$, el valor de w se calcula con la fórmula:

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{p^2} \right) \right]^{1/2}$$

Y para el caso en que $p > 0.5$ se emplea

$$w = \left[\ln \left(\frac{1}{(1-p)^2} \right) \right]^{1/2}$$

2.2.9. Distribución log normal

Si la variable aleatoria $Y = \log X$ está normalmente distribuida, entonces se dice que X está distribuida en forma lognormal. La distribución lognormal tiene las ventajas sobre la distribución normal de que está limitada (su rango es: $X > 0$) y que la transformación log tiende a reducir la asimetría positiva comúnmente encontrada en información hidrológica, debido de que al tomar logaritmos se reducen en una proporción mayor los números grandes que los números pequeños.

Para el cálculo del factor de frecuencia, la distribución lognormal emplea el mismo procedimiento, excepto que éste se aplica a los logaritmos de las variables y su media y desviación estándar son usadas en las ecuaciones. (Chow et al., 1994)

2.2.10. Distribución log Pearson tipo III

Para esta distribución, el primer paso es tomar los logaritmos de la información hidrológica, $y = \log x$. Usualmente se utilizan logaritmos con base 10. Se calculan la media \bar{y} , la desviación estándar S_y y el coeficiente de asimetría C_s .

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^3}{(n-1)(n-2)s_y^3}$$

Cuando $C_s=0$ el factor de frecuencia es igual a la variable normal estándar z , cuando $C_s \neq 0$, K_T se aproxima como:

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

Donde $k=C_s/6$

El valor de z para un periodo de retorno dado puede calcularse usando el procedimiento para la distribución normal (Chow et al., 1994).

2.2.11. Distribución gumbell

Según (Chow et al., 1994):

Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos. Fisher y Tippett (1928) han demostrado que las distribuciones de valores extremos seleccionados de conjuntos de muestras de cualquier distribución de probabilidad convergen en una de las tres formas de distribuciones de valor extremo, llamadas tipo I, II y III.

Jenkinson (1955) demostró que estas tres formas limitantes eran casos especiales de una distribución única llamada la distribución de valor extremo general (GEV). La función de distribución de probabilidad para la GEV es:

$$F(x) = e^{\left[-\left(1 - k \frac{x-u}{\alpha}\right)^{1/k} \right]}$$

Donde k , u y α son parámetros que deben ser determinados.

La distribución de valor extremo tipo I desarrollado por Gumbell (1941) no tiene límites, por lo que es la más frecuentemente usada para el

análisis de frecuencia, a diferencia de la distribución de valor extremo tipo II desarrollada por Frechet (1927) donde x está acotado por abajo (por $u+\alpha/k$), y la distribución tipo III desarrollada por Weibull (1939) que está similarmente acotada por arriba.

Para la distribución de gumbell, la función de la densidad de probabilidad es

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} e \left[-\frac{x-u}{\alpha} - e^{\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)} \right]$$

Donde $\alpha = \frac{\sqrt{6}S_x}{\pi}$ y $u = \bar{x} - 0.5772\alpha$

Para el cálculo del factor de frecuencia K_T con la distribución de gumbell se dedujo la siguiente expresión:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

2.2.12. Pruebas de bondad de ajuste

Según Aparicio (1989):

La prueba de Kolmogorov-Smirnov consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$.

$$D = \text{máx} |F_0(x_m) - F(x_m)|$$

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$$

Donde m es el número de orden del dato x_m en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos.

El valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado. (p.279)

Figura 2: Valores críticos d para la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
n grande	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: Aparicio, 1989, Fundamentos de hidrología de superficie, p.289

2.2.13. Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de precipitación

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

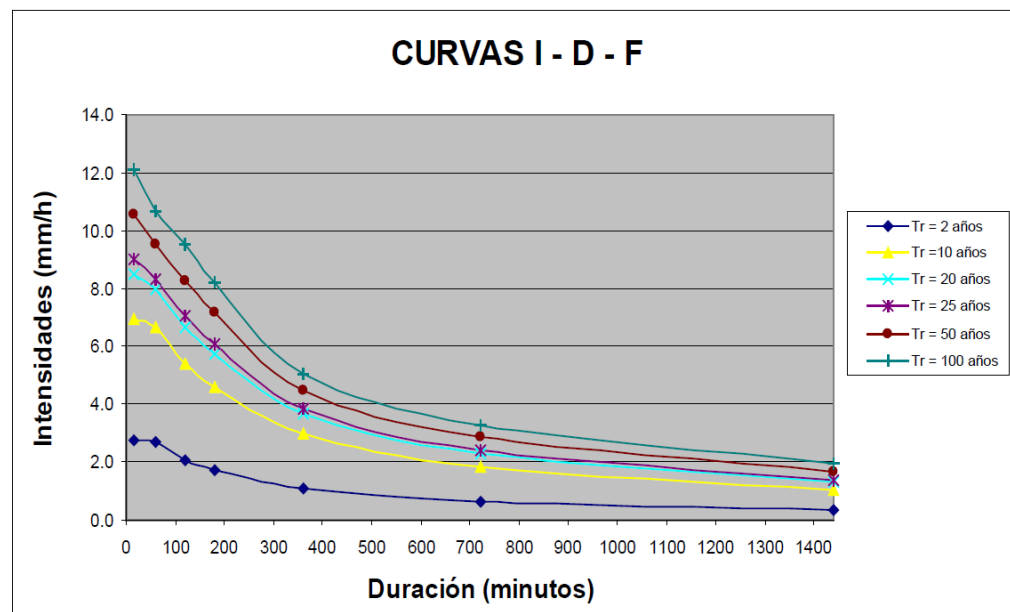
La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h). Puede ser la intensidad instantánea o la intensidad promedio sobre la duración de la lluvia. Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, ue puede expresarse como:

$$i = \frac{P}{Td}$$

Donde P es la profundidad de lluvia (mm) y Td es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del periodo de retorno, t , que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno. (p.34)

Figura 3: Ejemplo de curva IDF



Fuente: Ministerio de Transportes y comunicación, 2018, Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, p. 35

2.2.14. Hidrograma

El hidrograma de una corriente es la representación gráfica de las variaciones del caudal con respecto al tiempo, arregladas en orden cronológico, en un lugar dado de la corriente (Villón Béjar, 2002, p.197).

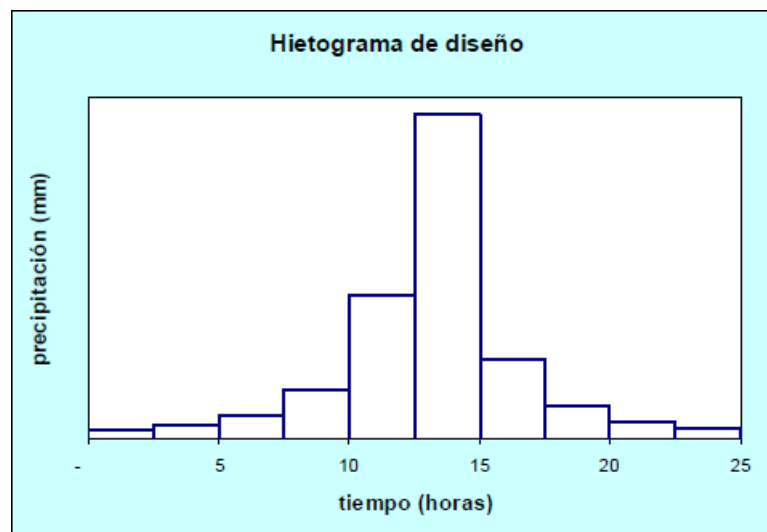
2.2.15. Hietograma de diseño

Según Chow et al. (1994):

El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un Hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad-duración-frecuencia. El Hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación que ocurre en n intervalos

de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n \Delta t$. Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en una curva IDF para cada una de las duraciones Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$,..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Tomando diferencias entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, se encuentra la cantidad de precipitación que debe añadirse por cada unidad adicional de tiempo Δt . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el Hietograma de diseño. (p.477)

Figura 4: Hietograma de diseño empleando el método del bloque alterno



Fuente: Ministerio de Transportes y comunicación, 2018, Manual de hidrología, hidráulica y drenaje, p. 34

2.2.16. Método racional

Empleado para estimar el caudal máximo a partir de la precipitación, es un método de más de 100 años de antigüedad, siendo uno de los más usados para el diseño de un alcantarillado pluvial, pese a ser criticado

por la forma muy simplificada en la que opera. Se emplea para cuencas menores a 13 km².

Según Chow et al. (1994):

Si una lluvia con intensidad i empieza en forma instantánea y continúa en forma indefinida, la tasa de escorrentía continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración t_c , en el cual toda la cuenca está contribuyendo al flujo en la salida. El producto de la intensidad de lluvia i y el área de la cuenca A es el caudal de entrada al sistema, y la relación entre este caudal y el caudal pico Q (que ocurre en el tiempo t_c) se conoce como el coeficiente de escorrentía C ($0 \leq C \leq 1$).

$$Q = C \times i \times A$$

En áreas urbanas, el área de drenaje usualmente está compuesta de subáreas o subcuencas de diferentes características superficiales. Como resultado, se requiere un análisis compuesto que tenga en cuenta las diferentes características superficiales. Las áreas de las subcuencas se denominan como A_j y los coeficientes de escorrentía para cada una de ellas se denominan como C_j . La escorrentía pico se calcula al utilizar la siguiente forma de la fórmula racional:

$$Q = i \sum_{j=1}^m C_j \times A_j$$

Donde m es el número de subcuencas drenadas por un alcantarillado.
(p.510)

2.2.17. Modelamiento hidrológico

Desde principios de los años 60 se ha desarrollado una gran cantidad de modelos determinísticos de simulación hidrológica. Estos incluyen modelos de simulación de eventos que pueden modelar un evento único de lluvia-escorrentía y modelos de simulación continua, los cuales incluyen procedimientos para tener en cuenta el contenido de humedad

del suelo con el fin de simular la escorrentía causada por lluvias con intervalos de días u horas a lo largo de grandes periodos (Chow et al. 1994, p. 519)

2.2.18. Modelo de simulación EPA SWMM 5.0

El modelo de simulación de SWMM puede clasificarse como modelo de planeación. Estos modelos se utilizan para estudios generales de planeación de problemas de aguas lluvias, usualmente en un espacio relativamente grande y durante periodos relativamente largos. La cantidad y calidad del agua lluvia se trata en forma bastante aproximada, considerando solamente la conservación de la masa del agua y de los contaminantes sin considerar la dinámica de su movimiento a través del sistema. Los modelos de planeación se emplean para tareas tales como estudio s de calidad de agua y plantas de tratamiento. Estos no requieren información geométrica detallada de las estructuras de drenaje (Chow et al., 1994 p.531).

Según Rossman (2015):

El *Stormwater Management Model* (modelo de gestión de aguas pluviales) de la EPA (SWMM) es un modelo dinámico de simulación de precipitaciones, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto la cantidad como la calidad del agua evacuada, especialmente en alcantarillados urbanos.

El *módulo de escorrentía o hidrológico* de SWMM funciona con una serie de cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía.

El *módulo de transporte o hidráulico* de SWMM analiza el recorrido de estas aguas a través de un sistema compuesto por tuberías, canales, dispositivos de almacenamiento y tratamiento, bombas y elementos reguladores.

Asimismo, SWMM es capaz de seguir la evolución de la cantidad y la calidad del agua de escorrentía de cada cuenca, así como el caudal,

el nivel de agua en los pozos o a la calidad del agua en cada tubería y canal durante una simulación compuesta por múltiples intervalos de tiempo.

2.3. Marco conceptual

Alcantarilla: Conducto subterráneo empleado para conducir aguas servidas, de lluvia o una combinación de estas.

Alcantarillado pluvial: Conjunto de alcantarillas encargadas de conducir agua de lluvia exclusivamente.

Buzón: Estructura de forma cilíndrica construida con mampostería o elementos de concreto, pueden ser prefabricados o contruidos en el sitio. Se usan al inicio de la red, en intersecciones, cambios de dirección, diámetro, pendiente,

Captación: Estructura que permite la entrada de agua hacia el sistema.

Carga hidráulica: Suma de las cargas de velocidad, presión y posición.

Coeficiente de escorrentía: Coeficiente que indica la parte de la lluvia que escurre superficialmente.

Cuenca: Área de terreno sobre la que caen las precipitaciones y el agua es drenada hacia una corriente en un lugar dado.

Cuneta: Estructura hidráulica descubierta, estrecha y en sentido longitudinal que transporta agua de lluvia, situadas por lo general al borde de la calzada.

Dren: Zanja o tubería con que se efectúa el drenaje.

Drenaje: Retirar el exceso de agua no utilizable.

Drenaje urbano: Drenaje en zonas urbanas siguiendo criterios urbanísticos.

Duración de la lluvia: Intervalo de tiempo entre el principio y el final de la lluvia.

Estructura de unión: Cámara subterránea utilizada en los puntos de unión de dos o más conductos, pero sin acceso desde la superficie. Se diseña para prevenir la turbulencia en el escurrimiento dotándola de una transición suave.

Hietograma: Distribución temporal de la lluvia expresada en forma gráfica. En el eje de las abscisas se representa el tiempo y en el eje de las ordenadas la intensidad de la lluvia.

Intensidad de la lluvia: Caudal de la precipitación pluvial en una superficie por unidad de tiempo. Se mide en milímetros por hora (mm/h) o en litros por segundo por hectárea (l/s/ha).

Lluvia efectiva: Porción de lluvia que escurrirá superficialmente. Es la cantidad de agua de lluvia que queda en la superficie luego de que el agua se haya infiltrado, evaporado o almacenado.

Pavimento: Conjunto de capas superpuestas de diversos materiales para soportar el tránsito vehicular.

Pendiente longitudinal: Inclinación que tiene el conducto respecto a su eje longitudinal.

Periodo de retorno: Intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada.

Precipitación: Fenómeno atmosférico que consiste en el aporte de agua a la tierra en forma de lluvia, llovizna, nieve o granizo.

Precipitación efectiva: Precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo.

Sistemas de evacuación por gravedad: Sistema que descarga el agua libremente al depósito de drenaje, ya sea natural o artificial.

2.4. Sistema de hipótesis

2.4.1. Variables e indicadores

- Variable independiente:
 - Distrito de Iquitos

- Variable dependiente:
 - Diseño hidráulico de drenaje pluvial urbano

- Variable interviniente:
 - Topografía

- Parámetros hidrológicos
- Parámetros hidráulicos

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La presente es una investigación aplicada, se centra en el análisis y solución práctica a un problema específico de la vida real, basándose en el estudio del problema y en sus resultados.

3.1.2. Nivel de investigación

La presente es una investigación descriptiva, busca analizar y diseñar un sistema urbano de drenaje pluvial para puntos críticos de la ciudad de Iquitos. La investigación busca sentar las bases respecto a las características del terreno y de los materiales, analizando sus propiedades y características.

3.2. Población y muestra del estudio

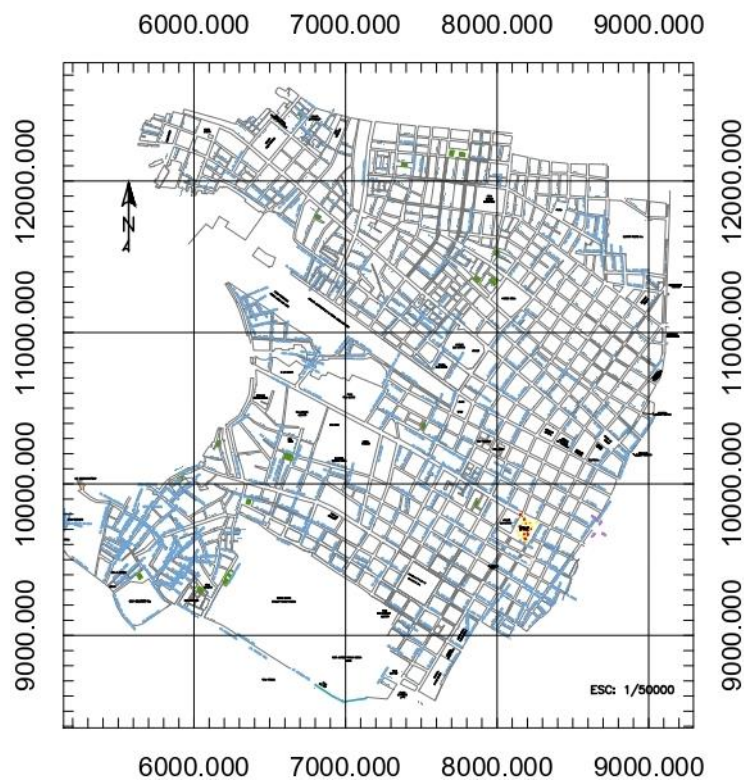
3.2.1. Población

La población de la presente investigación corresponde a la ciudad de Iquitos, ubicada en la provincia de Maynas, la cual abarca a los distritos Punchana, Iquitos, Belén y San Juan Bautista.

3.2.2. Muestra

La muestra del estudio corresponde al sector de la ciudad de Iquitos que abarca el distrito de Iquitos.

Figura 5: Distrito de Iquitos



Fuente: propia

3.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es del tipo descriptiva, porque las variables a manipular son los elementos a tomar en cuenta para el diseño de un drenaje pluvial, acomodando las características del diseño a las condiciones del terreno.

Para validar la hipótesis planteada será necesario realizar estudios de campo que brinden datos sobre el terreno en cuestión, las características que presenta, así como el relieve de este, principal causante del empozamiento de aguas pluviales. Posteriormente se analizará el nivel de las precipitaciones y la cantidad de agua que se puede llegar a acumular durante el periodo de mayores precipitaciones. Como último paso se procederá al diseño y se evaluará el mismo acorde a las condiciones teóricas ocurren durante los empozamientos.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

El estudio topográfico se llevó a cabo a partir de los datos otorgados por el topógrafo Walter Rodríguez, para la recolección de los datos faltantes se realizó un levantamiento topográfico empleando una estación total SOKKIA serie CX-100.

Los datos empleados para realizar el análisis hidrológico fueron obtenidos por el senamhi para ser procesados posteriormente con los softwares Excel 2016 e Hidroesta.

3.5. Procesamiento y análisis de datos

Se utilizaron los softwares civil 3d 2017 y autocad 2017 para el procesamiento de los datos topográficos, Excel 2016 e hidroesta para los cálculos hidrológicos y EPA SWMM 5.1.013 para los cálculos hidráulicos.

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de investigación

4.1.1. Sistema de drenaje pluvial del distrito de Iquitos

4.1.1.1. Obligatoriedad de drenaje pluvial

Según la norma OS.060 en el ítem 4.6 determina que en toda habilitación urbana en donde se produzcan lluvias mayores a 10 mm en 24 horas debe implementarse de forma obligatoria un sistema de alcantarillado pluvial.

En el caso de la ciudad de Iquitos, durante la temporada de lluvias que inicia en el mes de diciembre hasta mediados de abril, se han reportado precipitaciones que superan ampliamente los 10 mm mínimos requeridos, llegando hasta un máximo histórico de 208 mm en el año 1993.

Por lo tanto, considerando las intensidades de las lluvias que se producen en esta ciudad se determina que la implementación de un alcantarillado pluvial es obligatoria.

4.1.1.2. Estado actual del alcantarillado pluvial de la ciudad de Iquitos

Como las precipitaciones que se producen en el distrito obligan a incluir un alcantarillado pluvial, Iquitos ya cuenta con un drenaje pluvial implementado.

A lo largo de las calles de la ciudad se pueden observar los elementos visibles del drenaje pluvial, como las cunetas que conducen el agua y los sumideros que conducen la escorrentía hacia las tuberías.

Figura 6: cuneta al borde de la pista



Fuente: propia

Figura 7: sumidero lateral de sardinel sin depresión



Fuente: propia

Sin embargo, este sistema no se desempeña de manera adecuada, siendo el principal problema el que se trata de un sistema de alcantarillado combinado, es decir que conduce las aguas residuales y las aguas pluviales simultáneamente. Por este motivo es común que se produzcan inundaciones gracias al colapso de los buzones o por el desborde del agua en los sumideros cuando se producen precipitaciones, siendo moderadas o graves de acuerdo a la intensidad de la lluvia.

Figura 8: inundación producida luego de una lluvia de corta duración (29 de junio del 2019)



Fuente: propia

Figura 9: aguas pluviales drenándose hacia el alcantarillado sanitario



Fuente: propia

Figura 10: canal abierto perteneciente al alcantarillado sanitario luego de una lluvia



Fuente: propia

Figura 11: canal abierto perteneciente al alcantarillado sanitario en un día sin lluvia



Fuente: propia

4.1.1.3. Problemática con el mantenimiento del alcantarillado

El drenaje pluvial de Iquitos además de su deficiencia en la planificación y funcionamiento también se ve afectado por factores externos, como lo es principalmente la contaminación.

La basura que se suele dejar en las calles no es recogida regularmente y suele almacenarse en las calles, esto tiende a afectar al alcantarillado combinado con el que cuenta la ciudad debido a que obstruye el paso de la escorrentía y obstruye el libre tránsito del agua.

Figura 12: basura acumulada cerca a la cuneta



Fuente: propia

Sumado a esto, la misma población de la ciudad de Iquitos acentúa aún más el problema, puesto que la población no tiene conciencia de la importancia del drenaje son ellos mismos los que a propósito desechan su basura tanto en las calles como en el mismo alcantarillado.

Figura 13: basura acumulada cerca a la cuneta



Fuente: propia

4.1.2. Estudio topográfico

4.1.2.1. Objetivo del estudio

El objetivo del estudio topográfico consiste en la obtención del relieve de la cuenca con la cual se va a trabajar, en este caso el sector del distrito de Iquitos.

4.1.2.2. Metodología

Para el trabajo se cuenta con un levantamiento topográfico realizado por Seda Loreto, este se complementará con un levantamiento topográfico empleando una estación total para las zonas que no fueron incluidas en el levantamiento topográfico previamente realizado.

Figura 14: Preparación de equipo para levantamiento topográfico



Fuente: propia

Figura 15: Toma de puntos



Fuente: propia

4.1.2.3. Reconocimiento del área de Estudio

Se ha realizado un recorrido a todo el terreno que abarca el área de estudio, esto incluye a las zonas a las cuales ya se ha realizado un levantamiento topográfico con anterioridad además de las zonas que no han sido incluidas en éste.

4.1.2.4. Procedimiento de trabajo

Luego del reconocimiento del área de estudio se definieron las zonas a las que faltan incluir en el levantamiento topográfico, en cada una de dichas zonas se realizó lo siguiente:

- Ubicación de un BM como referencia para el levantamiento
- Instalación y nivelación de la estación total
- Configuración de la estación total
- Toma de puntos con el uso del prisma
- Extracción de los datos tomados para el trabajo de gabinete

4.1.3. Estudio hidrológico

4.1.3.1. Objetivo del estudio

El objetivo del estudio hidrológico consiste en determinar los parámetros hidrológicos con los cuales se realizará el diseño del drenaje pluvial.

4.1.3.2. Recopilación de datos

Para el estudio hidrológico se consideró la siguiente información:

- Datos de las precipitaciones máximas de la estación Punchana.
- Plano catastral del distrito de Iquitos.
- Plano del sistema de alcantarillado de la ciudad de Iquitos.
- Levantamiento topográfico efectuado por Seda Loreto.

4.1.3.3. Periodo de retorno

Según la norma OS.060 el período de retorno para un sistema de drenaje urbano mayor no debe ser menor de 25 años. Debido a lo variable que son las precipitaciones que se producen en el distrito de Iquitos se consideró un período de retorno de 25 años para el diseño del sistema.

4.1.3.4. Precipitación máxima de diseño

Para el cálculo de la precipitación máxima de diseño se emplearon los datos obtenidos de la estación Punchana, localizada en el distrito de punchana a 116 msnm. Con latitud 3°41'24.1" y longitud 73°15'14.6". La estación cuenta con 26 años de registros de precipitación máxima en 24 horas (1992-2017). La tabla 1 resume las precipitaciones máximas mensuales durante el tiempo de registro.

Tabla 1: Precipitaciones máximas por mes de la estación
Punchana

Año	MES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992	7	53	28	24	94	44	32	102	68	73	50	30
1993	50	62	93	75	74	24	38	208	32	35	52	29
1994	120	36	48	152	58	45	95	30	89	42	60	48
1995	105	48	85	36	77	103	19	30	51	76	53	61
1996	108	98	82	74	105	51	24	34	44	25	67	56
1997	46	78	49	60	42	55	49	99	44	29	48	51
1998	40	37	134.4	86	56.2	20.4	28.4	27.6	47.8	60.6	42.4	55.8
1999	47.2	56	54.8	102.6	40	32.2	75.2	56.6	37	50.6	48	34.4
2000	55.2	29.2	100.2	89.2	48.2	32.8	49.2	64.4	49.2	45	14.8	53.6
2001	44.8	45.6	58.2	46.2	23	39	18.4	29.2	57.6	80.2	48.8	111
2002	52.6	32.8	46.2	80.2	100.9	35.2	74.3	27.3	42.7	35.7	152.7	78.2
2003	50.8	29.2	35.7	45.5	36.7	22.8	39.4	29.4	37.2	77.5	79.8	83.5
2004	47.9	40	53.1	42.9	92.2	60.6	46	35.1	55.8	31	52.3	57
2005	31.6	37.8	98.1	50.7	29.7	35.7	91.8	44.1	28.8	43.1	49.8	39.2
2006	47.8	28.8	46.4	34.8	76.6	19.4	48.9	26.2	33.5	44	61.1	59.7

2007	28.8	14.3	63.4	78.3	52.8	55.6	31.8	42.8	56.2	53.5	59.2	87.4
2008	78.3	68.1	108.3	29.3	39.8	62.6	23.3	46.5	77.4	74.5	90.2	47.2
2009	45	51.2	48.6	---	37.9	22.1	19.4	46.5	28.4	40.9	86.9	64.8
2010	74.4	45.9	54	17.8	41.6	29.8	18.4	28.7	29.8	39.4	62.7	17.7
2011	39.8	29.4	98.7	79.3	35.4	39.7	32.1	29.7	49.7	66.3	35.6	39.7
2012	81.9	49.8	44.6	41.8	40.4	39.4	45	31.2	42.6	44.1	40.1	16.2
2013	30.4	74.6	70.5	35.3	40.6	32	33.8	109.6	38.4	42.3	67.4	39.6
2014	32.1	---	38.7	67	---	---	---	---	---	---	---	---
2015	---	48	38.4	73	38.2	24.6	38.6	38.6	39.2	---	39.7	54.8
2016	65.6	75.4	41.4	47.6	32.8	38.2	39.6	30.7	42.6	38.2	58.3	35.4
2017	---	---	67.4	22	168.6	64	28.6	35.5	43.7	---	63.1	---

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Para el procesamiento de los datos se necesita escoger un modelo probabilístico que se ajuste al comportamiento de la variable. Para la prueba de bondad de ajuste se empleó el software “HIDROESTA”, desarrollado por la escuela de ingeniería agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Con la asistencia de este programa fue obtenido el Δ tabular, así como también los Δ teóricos para cada distribución a la que se realizó el ajuste. Los Δ teóricos que fueron obtenidos con la asistencia del programa se resumen en la tabla 2.

Tabla 2: Valores de Δ para cada distribución

Distribución	Δ teórico
Normal	0.2177
Log normal	0.1564
Log Pearson tipo III	0.1073
Gumbel	0.1480
Log gumbel	0.1033

Fuente: propia

Según el análisis de bondad de ajuste se concluye que la distribución que mejor se ajusta es el modelo de distribución Log Gumbel. El procedimiento del cálculo se detalla en el Anexo 1.

Los parámetros de distribución obtenidos para el cálculo de la precipitación máxima de diseño con la distribución de Log Gumbel se resumen en la tabla 3.

Tabla 3: Parámetros de distribución para Log Gumbel

Media:	4.6245
Desviación estándar:	0.2751

Fuente: propia

El factor de frecuencia K_T se calculó con la siguiente fórmula:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Se calculó el respectivo factor de frecuencia para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Estos resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Factores de frecuencia para distintos periodos de retorno

T (años)	K_T
2	-0.164
5	0.719
10	1.305
25	2.044
50	2.592
100	3.137

Fuente: propia

Finalmente, con los factores de frecuencia obtenidos se calculó la precipitación máxima para el periodo de retorno correspondiente. Estos resultados se resumen en la tabla 5.

Tabla 5: Precipitaciones máximas según su periodo de retorno

T (años)	K_T	$\ln X_T$	X_T
2	-0.164	4.58	97.45

5	0.719	4.82	124.26
10	1.305	4.98	145.96
25	2.044	5.19	178.88
50	2.592	5.34	208.01
100	3.137	5.49	241.61

Fuente: propia

Para el diseño del sistema de drenaje pluvial se consideró como lluvia de diseño a la que corresponde a un periodo de retorno de 25 años, es decir una precipitación de 178.88 mm en 24 horas.

4.1.3.5. Hietograma de diseño

Para el cálculo del hietograma de diseño se calcula primero la ecuación de la curva representativa para el periodo de retorno con el que se está trabajando. El proceso de cálculo se detalla en el Anexo 1. La tabla 6 muestra la ecuación de curva representativa obtenida para el periodo de retorno de 25 años.

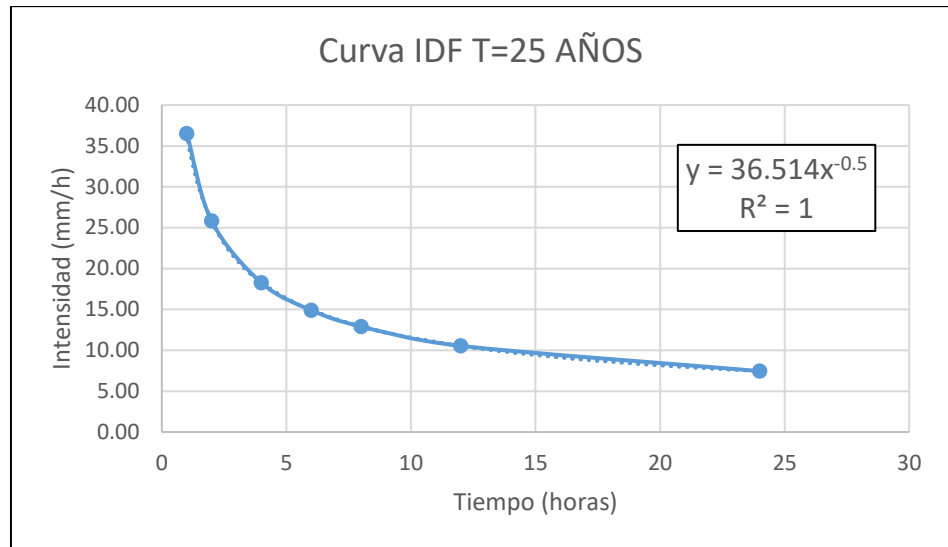
Tabla 6: Ecuación de curva representativa para un periodo de retorno de 25 años

T = 25 años
$y = 36.514x^{-0.5}$
$R^2 = 1$

Fuente: propia

Con la ecuación de curva representativa se graficó la curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para una duración de 24 horas.

Figura 16: Curva de Intensidad Duración Frecuencia



Fuente: propia

La tabla 7 muestra la distribución del hietograma de diseño a través del método del bloque alterno. La distribución de la serie temporal se efectuó para una precipitación de 6 horas de duración con un intervalo de 20 minutos.

Tabla 7: Serie temporal de una precipitación de 6 horas de duración

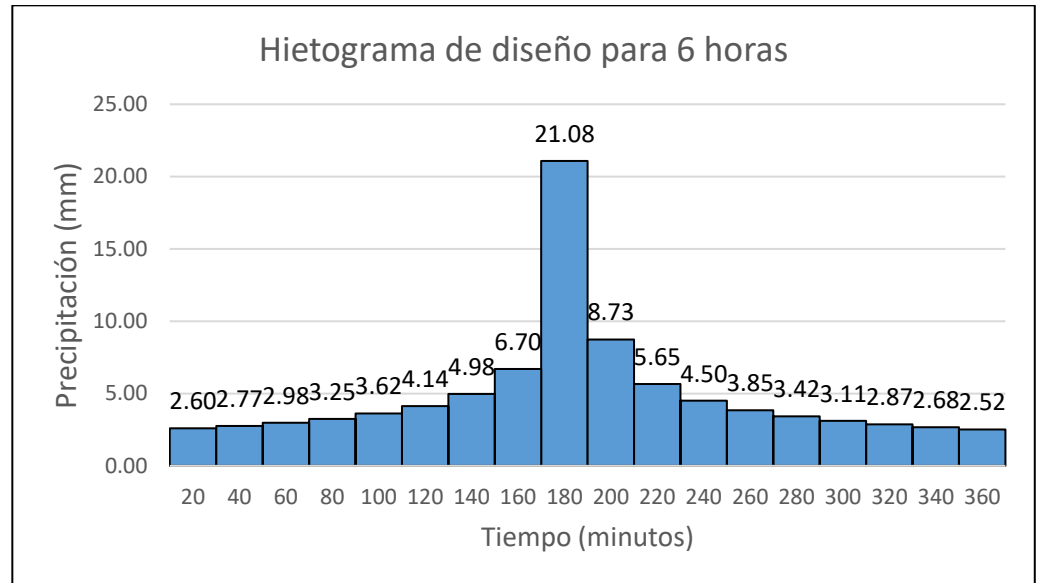
T=25 años	
Tiempo (min)	P (mm)
20	2.60
40	2.77
60	2.98
80	3.25
100	3.62
120	4.14
140	4.98
160	6.70
180	21.08
200	8.73
220	5.65
240	4.50
260	3.85
280	3.42
300	3.11
320	2.87

340	2.68
360	2.52

Fuente: propia

De forma gráfica, el hietograma de diseño se representa de la siguiente forma:

Figura 17: Hietograma de diseño

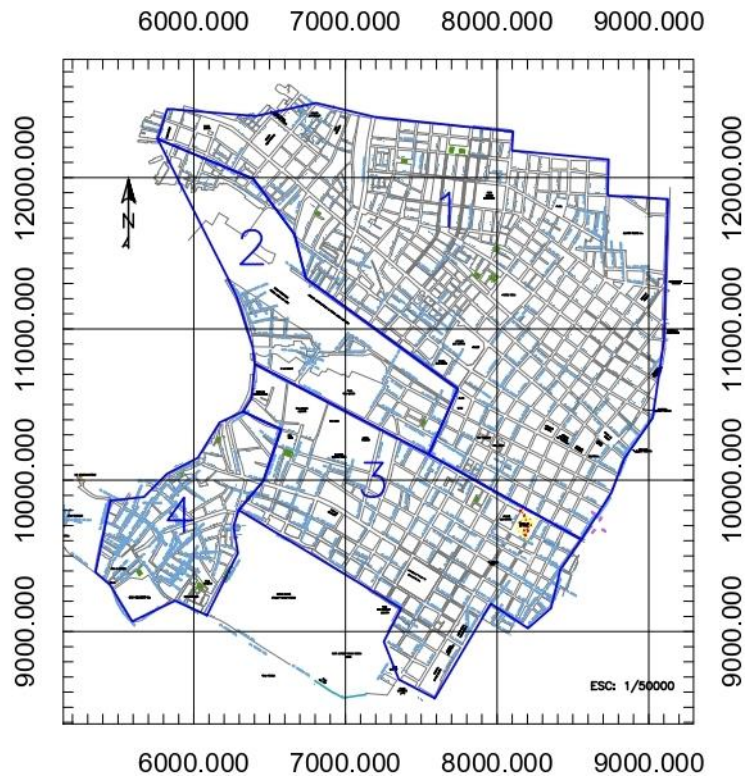


Fuente: propia

4.1.4. Cuencas del distrito

En el distrito de Iquitos se delimitaron 4 cuencas que abarcan el distrito de Iquitos. Para el diseño del sistema de drenaje pluvial se excluye la cuenca número 4, cuenca que en su mayoría consiste en una zona inundable de terreno natural.

Figura 18: Cuencas del proyecto



Fuente: propia

4.2. Modelamiento por el software SWMM

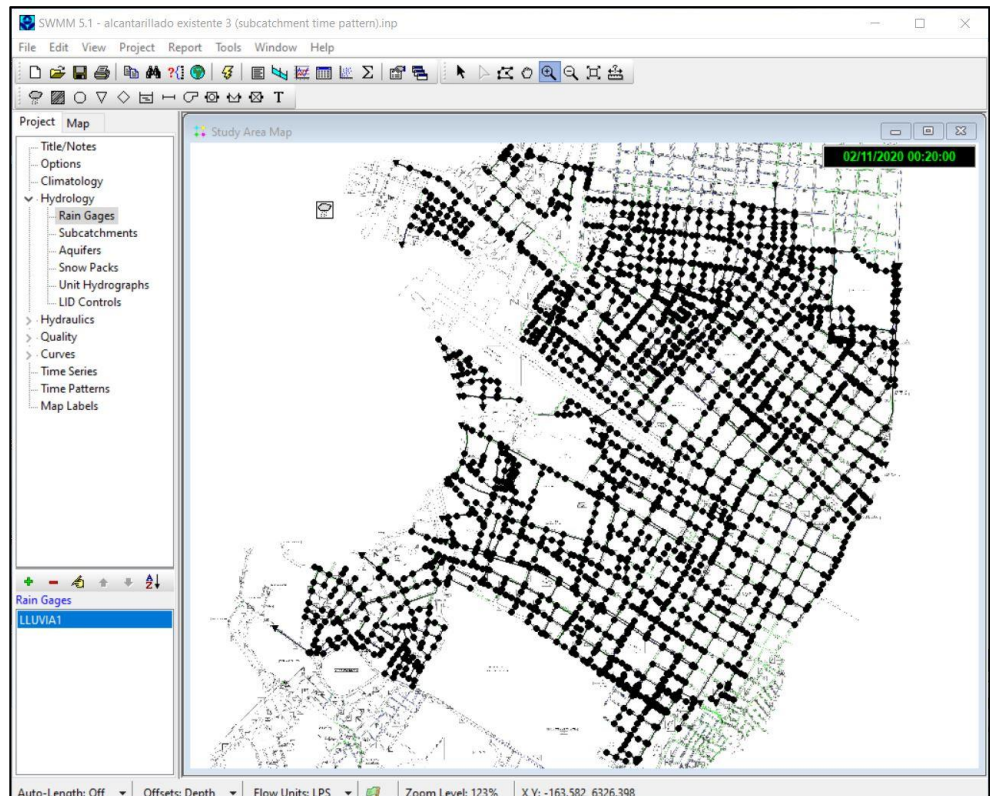
4.2.1. Sistema de alcantarillado existente

Para realizar la evaluación del sistema de alcantarillado actual del distrito de Iquitos se empleó la misma precipitación de diseño que se usa para el diseño del drenaje pluvial que se propone.

4.2.1.1. Ingreso de datos

Los datos del alcantarillado actual proporcionados por Seda Loreto se introdujeron en el programa SWMM con un procedimiento similar al explicado en el Anexo 3.

Figura 19: Modelo del alcantarillado existente



Fuente: propia

Para simular los caudales de las aguas residuales que el alcantarillado sanitario transporta se consideró el 80% de la demanda de todo el distrito. Los coeficientes de variación introducidos al programa para determinar el consumo horario de detallan en la tabla 8.

Tabla 8: Coeficiente de variación

HORA	coef. var.
0-1	0.3
1-2	0.4
2-3	0.5
3-4	0.65
4-5	0.7
5-6	1.1
6-7	1.6
7-8	1.5
8-9	1.2
9-10	1
10-11	1.2

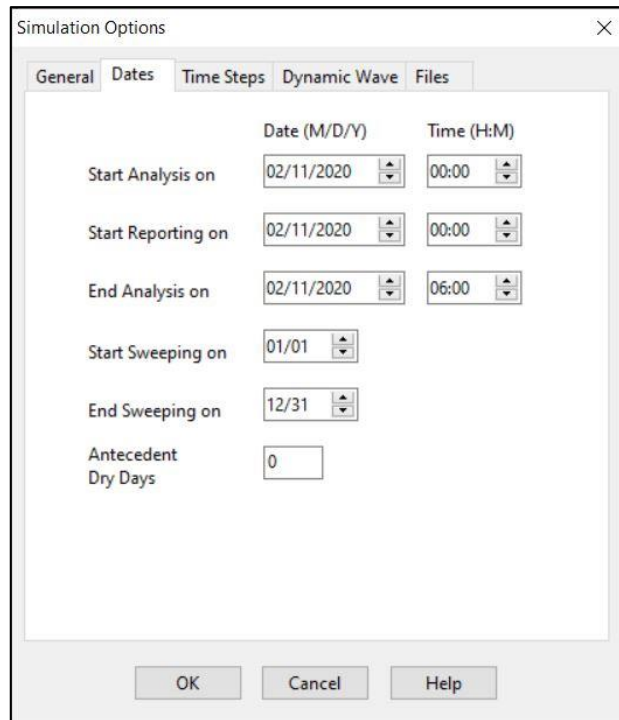
11-12	1.82
12-13	1.43
13-14	1.1
14-15	0.8
15-16	0.9
16-17	1
17-18	1.1
18-19	1.8
19-20	1.5
20-21	0.9
21-22	0.7
22-23	0.4
23-24	0.4

Fuente: propia

Estos coeficientes pueden introducirse al programa para calcular el aporte en los nudos del alcantarillado existente que se determinó como un caudal máximo horario de 0.372 l/s para cada nudo

El inicio de la precipitación de diseño se establece a las 0:00 horas para asumir que la precipitación no inicia en un momento en que el alcantarillado no se encuentra saturado, como se observa en la figura 18.

Figura 20: opciones de simulación alcantarillado existente



Fuente: propia

4.2.1.2. Resultados

Los resultados obtenidos empleando el software SWMM del alcantarillado existente se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 9: Resultados de escorrentía superficial del alcantarillado existente

	Volumen	Altura
Escorrentía superficial	ha-m	mm
Precipitación total	23.025	28.977
Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas infiltración	0.989	1.244
Escorrentía superficial	20.357	25.619
Almacenamiento final en superficie	1.967	2.476
% Error continuidad	-1.250	

Fuente: propia

Tabla 10: Resultados del cálculo hidráulico del alcantarillado existente

	Volumen	Volumen
Cálculo hidráulico	ha-m	10 ⁶ ltr
Aporte tiempo seco	0.000	0.000

Aporte tiempo lluvia	20.017	200.170
Aporte aguas subterráneas	0.000	0.000
Aportes dep. lluvia	0.000	0.000
Aportes externos	1.044	10.441
Descargas externas	9.315	93.152
Pérdidas almacenamiento	8.408	84.076
Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas exfiltración	0.000	0.000
Volumen almacenado inicial	0.000	0.000
Volumen almacenado final	3.240	32.405
% Error continuidad	0.465	

Fuente: propia

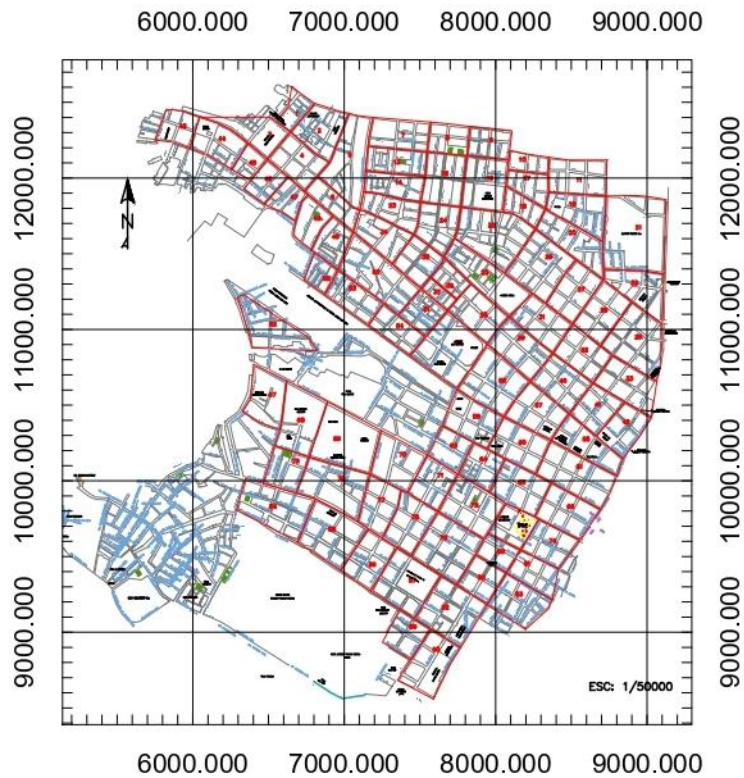
4.2.2. Alcantarillado pluvial propuesto

A continuación, se resume el procedimiento para el modelamiento del sistema con el SWMM, en el Anexo 3 se describe con mayor detalle el proceso paso a paso seguido para el modelamiento del proyecto.

4.2.2.1. Delimitación de las áreas tributarias

Por medio del programa AutoCAD Civil 3D se pudo calcular el área total de las 3 cuencas que abarcará el sistema de drenaje dando un total de 831.97 hectáreas, las cuales fueron divididas en áreas más pequeñas para hacer posible el cálculo, resultando en un total de 89 áreas tributarias las cuales se grafican en la figura 19.

Figura 21: Áreas tributarias del proyecto

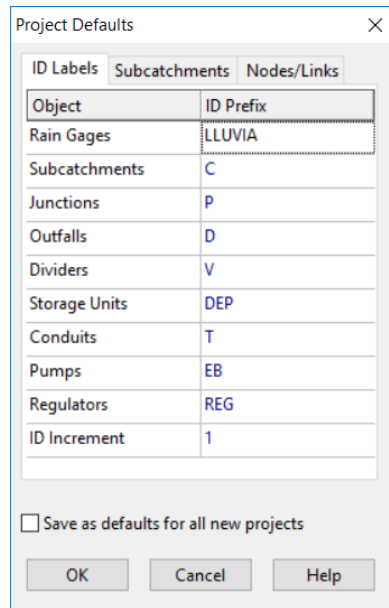


Fuente: propia

4.2.2.2. Configuración de los valores por defecto

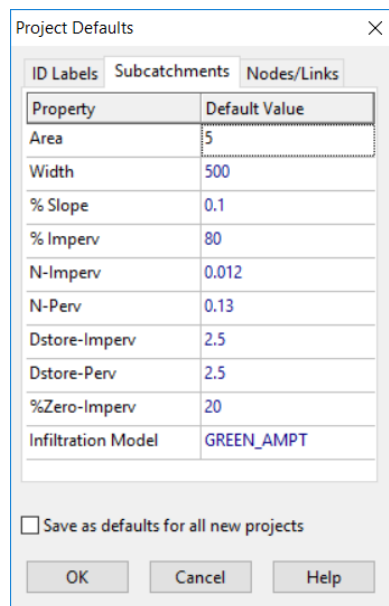
Teniendo varios datos a ingresar por elemento del sistema, el programa SWMM tiene la característica de simplificar el ingreso de los datos definiendo previamente valores por defecto que se asignarán a cada elemento nuevo.

Figura 22: Etiquetas por defecto



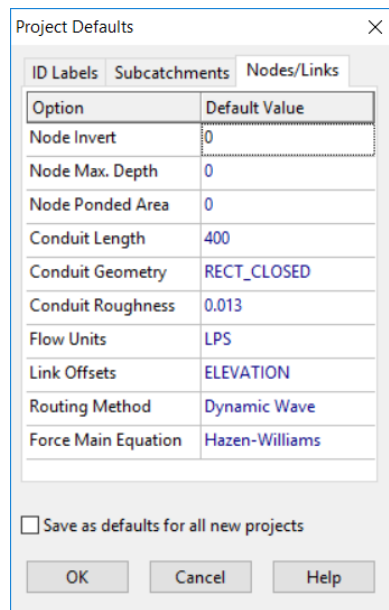
Fuente: propia

Figura 23: Características de las áreas por defecto



Fuente: propia

Figura 24: Características de los nudos y conductos por defecto



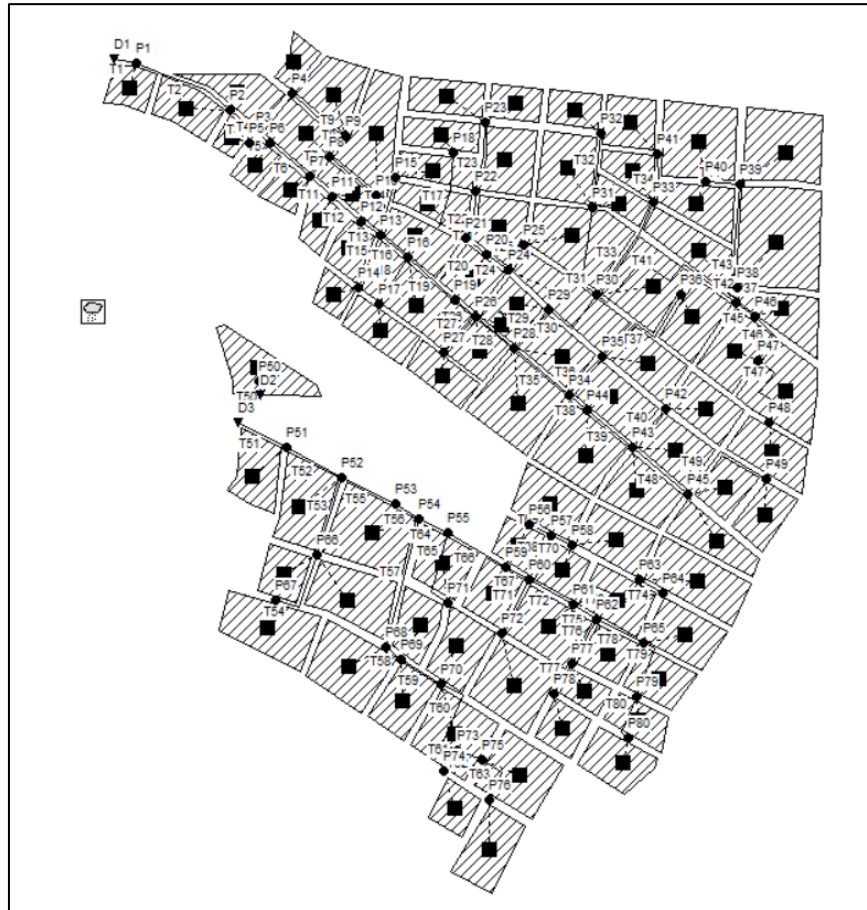
Fuente: propia

4.2.2.3. Dibujo de los objetos

Se dibujan los objetos que corresponden al sistema en el mapa del software SWMM, se trazan las áreas tributarias, nudos, descargas, conexiones y pluviómetro que forman el sistema.

Para el software SWMM el dibujo de los objetos es más referencial, es decir que los resultados no dependen directamente del dibujo que se muestra en pantalla, por lo tanto, la plantilla que se usa para dibujar los objetos sirve principalmente para mantener el orden en el trabajo. El procedimiento para el dibujo de los objetos de detalla en el Anexo 3.

Figura 25: Objetos que conforman el sistema dibujados en el programa



Fuente: propia

4.2.2.4. Infiltración

El programa SWMM tiene la capacidad de calcular la infiltración de lluvia en las zonas permeables de una cuenca sobre el suelo no saturado, teniendo tres modelos diferentes:

- Modelo de Horton:

Se basa en la observación empírica, propone que la infiltración decrece exponencialmente desde un valor inicial hasta un valor mínimo a lo largo de la lluvia.
- Green-Ampt:

Asume la existencia de un frente húmedo en el suelo que separa el suelo con un determinado contenido inicial de humedad del suelo saturado de la parte superior.

- Modelo de infiltración basado en el número de curva del SCS:

Asume que la capacidad de infiltración total del suelo se encuentra tabulada en tablas de número de curva. Durante una lluvia se representa en función de la lluvia acumulada y la capacidad de infiltración restante.

Para el diseño del sistema de alcantarillado pluvial se utilizará el método de Green-Ampt. Para las características del suelo se tiene la siguiente tabla extraída del manual del programa SWMM:

Tabla 11: Características del suelo

Textura del suelo	K (mm/h)	ψ (mm)	Φ	FC	WP
Arena	120.40	49.00	0.437	0.062	0.024
Arena margosa	29.79	61.00	0.437	0.105	0.047
Marga arenosa	10.92	110.00	0.453	0.190	0.085
Marga arenosa	3.30	89.00	0.463	0.232	0.116
Sedimentos de marga	6.60	170.00	0.501	0.284	0.135
Marga areno-arcillosa	1.52	220.00	0.398	0.244	0.136
Marga arcillosa	1.02	210.00	0.464	0.310	0.187
Sedimentos de marga arcillosa	1.02	270.00	0.471	0.342	0.210
Arcilla arenosa	0.51	240.00	0.430	0.321	0.221
Sedimentos de arcilla	0.51	290.00	0.479	0.371	0.251
Arcilla arenosa	0.25	320.00	0.475	0.378	0.265

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE
Manual de usuario, p.138

- K: conductividad hidráulica saturada (mm/h)
- Ψ : altura de succión (mm)
- Φ : porosidad
- FC: capacidad del campo
- WP: punto de marchitamiento

4.2.2.5. Modelo de la simulación

Se tienen tres métodos disponibles para realizar la simulación hidráulica del drenaje a analizar:

- Modelo de flujo uniforme
- Modelo de onda cinemática
- Modelo de onda dinámica

El modelo que se utiliza es el modelo de onda dinámica, el cual resuelve las ecuaciones unidimensionales de Saint Venant y por lo tanto es el modelo que teóricamente genera los resultados más precisos.

4.2.2.6. Características de las áreas tributarias

Para el desarrollo del modelo de la simulación es necesario introducir las características físicas de cada área.

- Coeficiente n de manning:
Se adopta un coeficiente de manning para el flujo superficial para el suelo permeable e impermeable según la siguiente tabla:

Tabla 12: Coeficiente n de manning para escorrentía superficial

Superficie	n	
Asfalto liso	0.011	
Hormigón liso	0.012	
Revestimiento de hormigón basto	0.013	
Madera pulida	0.014	
Ladrillo con mortero de cemento	0.014	
Arcilla vitrificada	0.015	
Fundición de hierro	0.015	
Tuberías de metal corrugado	0.024	
Superficie de escombrera	0.024	
Terreno improductivo (libre de residuos)	0.05	
Terreno cultivado	Cubierta de residuos < 20%	0.06
	Cubierta de residuos > 20%	0.17
Pasto natural	0.13	
Hierba	Corta, pradera	0.15
	Densa	0.24
	Hierba Bermuda	0.41
Bosque		

Con cubierta ligera de arbustos	0.4
Con cubierta densa de arbustos	0.8

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.140

Para las superficies impermeables se seleccionó un $n=0.012$ (hormigón liso) y para superficies permeables $n=0.13$ (pasto natural).

- Almacenamiento en depresión:

La altura de almacenamiento en depresión se selecciona a partir de los valores típicos de la siguiente tabla, para áreas permeables e impermeables.

Tabla 13: Valores Típicos de Almacenamiento en Depresión

Superficie impermeable	1.25-2.5 mm
Césped y hierba	2.5-5 mm
Pastos y prados	≈5 mm
Lecho forestal	≈7.5 mm

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.140

Para las áreas impermeables se seleccionó un almacenamiento en depresión (D_{store_Imperv}) de 2.5mm y para áreas permeables un almacenamiento en depresión (D_{store_Perv}) de 2.5mm.

- Pendiente:
Pendiente media de la cuenca en %.
- Ancho:

Anchura característica del flujo debido a la escorrentía superficial.

Una estimación de la anchura de la cuenca se puede calcular dividiendo el área total del área tributaria entre la máxima longitud de la misma, la longitud máxima es la distancia que habrá entre el punto más alejado de la descarga y la propia descarga. (Rossman, 2015, pág. 145)

- Flujo entre subáreas:

Sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la cuenca:

IMPERV: Flujo desde permeable hacia impermeable.

PERV: Flujo desde impermeable hacia permeable.

OUTLET: Ambas áreas aportan directamente la descarga.






















El sentido del flujo seleccionado es el IMPERV.

4.2.2.7. Características de los conductos

- Sección

El programa permite asignar varios tipos de secciones a los conductos, desde tuberías a canales abiertos.

Figura 26: Secciones transversales disponibles

Nombre	Parámetros	Forma	Nombre	Parámetros	Forma
Circular	Profundidad		Circular Relleno	Profundidad, profundidad del relleno	
Rectangular Cerrado	Profundidad, ancho		Rectangular Abierto	Profundidad, ancho	
Trapezoidal	Profundidad, ancho en la parte superior, pendiente lateral		Triangular	Profundidad, ancho en la parte superior	
Elipse Horizontal	Profundidad		Elipse Vertical	Profundidad	
Arco	Profundidad		Parabólica	Profundidad, ancho en la parte superior	
Potencial	Profundidad, Ancho en la parte superior, exponente		Rectangular – Triangular	Profundidad, ancho	
Rectangular Redondeada	Profundidad, ancho		Cesta de mano modificada	Profundidad, ancho	
Huevo	Profundidad		Huella de caballo	Profundidad	
Gótico	Profundidad		Catenaria	Profundidad	
Semiéptica	Profundidad		Cesta de mano	Profundidad	
Semicircular	Profundidad				

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.42

En este caso se seleccionó una tubería rectangular de base y altura variable (RECT_CLOSED).

- Coeficiente de manning
Dado que las secciones empleadas son conductos cerrados, se considera el coeficiente de manning según la siguiente tabla:

Tabla 14: Coeficiente de manning para flujo en conductos cerrados

Material del conducto	n
Fibrocemento	0.011-0.015
Ladrillo	0.013-0.017
Fundición con revestimiento de cemento y junta recubierta	0.011-0.015

Hormigón (en bloques): Acabado liso	0.012-0.014
Acabado basto	0.015-0.017
Hormigón (tubo)	0.011-0.015
Metal corrugado (1/2"x2 2/3") Sin revestimiento interior	0.022-0.026
Solera recubierta	0.018-0.022
Revestido de asfalto centrifugado	0.011-0.015
Tubería de plástico liso	0.011-0.015
Cerámica vitrificada (gres) tubería de gres	0.011-0.015
revestimiento por placas	0.013-0.017

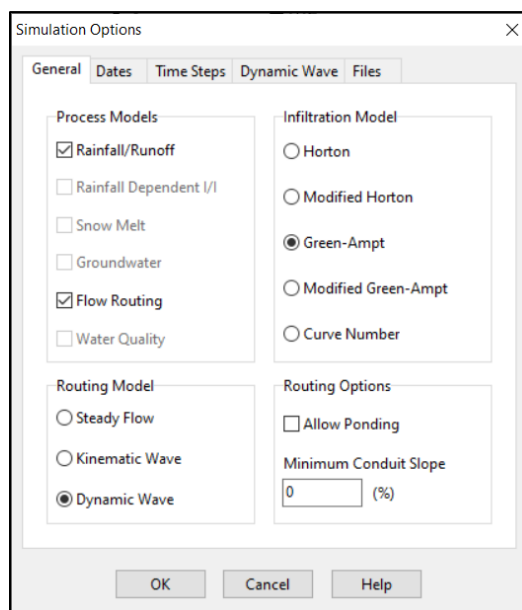
Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.140

Considerando que el material del que están fabricados los conductos es concreto (hormigón), se seleccionó un coeficiente de manning (n) de 0.013.

4.2.2.8. Opciones de la simulación

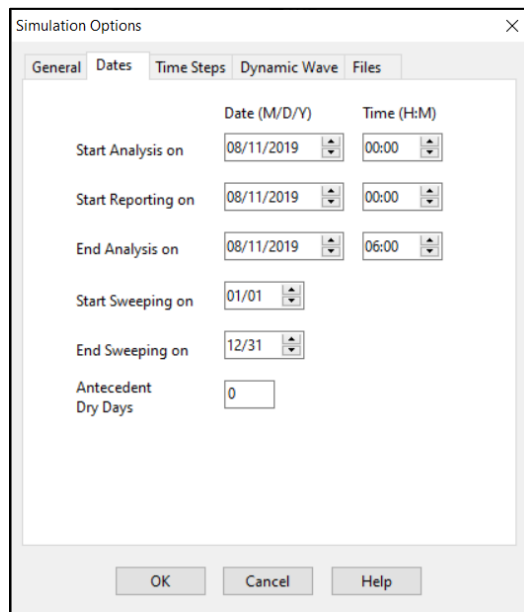
Antes de ejecutar la simulación del sistema, es necesario establecer algunas opciones para determinar las condiciones del análisis.

Figura 27: Opciones generales



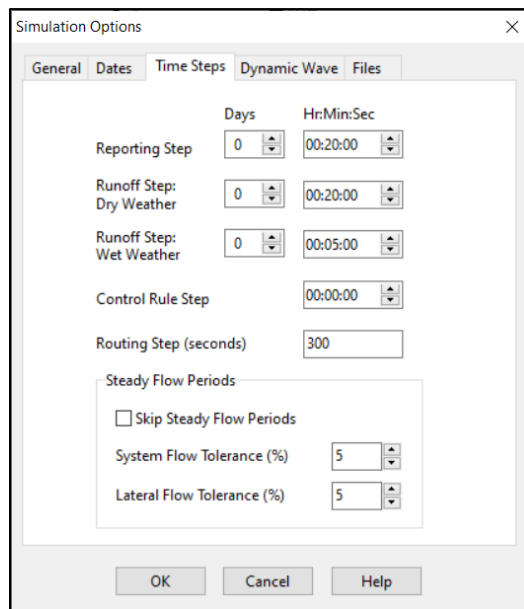
Fuente: propia

Figura 28: Opciones de fecha



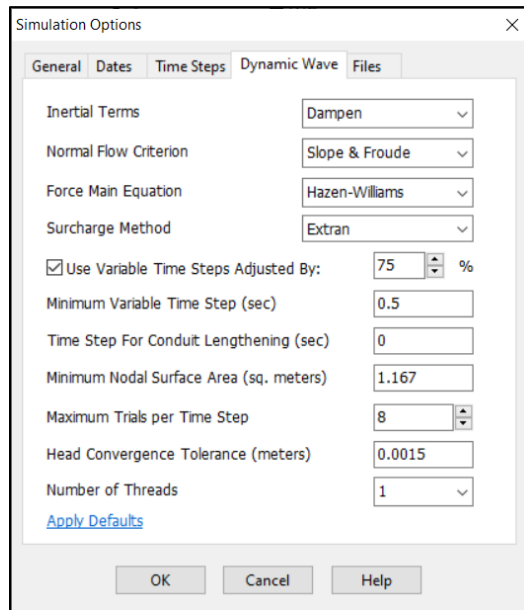
Fuente: propia

Figura 29: Opciones de paso de tiempo



Fuente: propia

Figura 30: Opciones de onda dinámica



Fuente: propia

4.2.3. Datos del modelamiento

Los datos necesarios para el modelamiento son:

- Áreas tributarias
- Nudos
- Vertidos (descargas)
- Conductos
- Secciones

4.2.3.1. Áreas tributarias

Para el modelamiento son necesarias las características físicas de cada área tributaria que conforma una cuenca en el área de estudio. El área impermeable es en donde se deposita la escorrentía que drenará todo el sistema, siendo el otro porcentaje restante (área permeable) donde se deposita el agua que se pierde, por infiltración o almacenamiento (en áreas verdes, parques, bermas, etc.).

Tabla 15: Características de las áreas tributarias del proyecto

Nombre	Salida	Área (ha)	Área impermeable (%)	Ancho	Pendiente (%)
C1	P4	3.34	80.00	143.33	0.03
C2	P9	8.35	80.00	292.11	0.29
C3	P2	7.23	75.00	98.44	1.00
C4	P8	7.61	80.00	265.98	0.35
C5	P10	12.52	90.00	533.59	0.48
C6	P11	5.16	80.00	255.09	0.89
C7	P23	7.64	70.00	133.69	0.73
C8	P23	5.16	70.00	110.74	0.94
C9	P32	5.38	80.00	278.68	0.44
C10	P41	6.82	80.00	144.43	0.58
C11	P40	14.49	80.00	435.24	0.86
C12	P39	14.59	80.00	185.53	0.22
C13	P18	6.39	70.00	397.74	1.40
C14	P15	6.04	70.00	384.50	1.74
C15	P22	8.80	70.00	343.84	1.19
C16	P31	9.57	80.00	386.47	1.96
C17	P33	4.65	80.00	173.04	0.42
C18	P31	3.91	80.00	281.03	0.73
C19	P40	8.14	80.00	322.50	1.02
C20	P37	8.81	85.00	218.70	0.59
C21	P38	19.78	80.00	675.19	0.74
C22	P46	8.24	85.00	244.38	1.83
C23	P21	6.53	70.00	337.95	0.54
C24	P20	7.44	70.00	261.32	1.04
C25	P25	13.99	85.00	245.04	1.09
C26	P30	11.74	85.00	329.68	1.43
C27	P36	8.06	85.00	228.82	0.94
C28	P47	8.44	90.00	236.51	1.40
C29	P48	12.36	80.00	358.40	0.85
C30	P24	11.22	90.00	662.25	0.37
C31	P35	7.98	80.00	359.09	1.25
C32	P44	7.59	80.00	332.46	0.18
C33	P48	8.78	75.00	388.79	0.90
C34	P16	7.17	60.00	342.91	0.29
C35	P19	6.39	70.00	195.88	0.74
C36	P29	3.45	90.00	118.57	0.37
C37	P26	2.24	90.00	76.78	0.37
C38	P28	7.90	85.00	227.98	0.49
C39	P42	8.92	70.00	230.40	0.14
C40	P43	8.20	80.00	221.05	1.06

C41	P45	6.53	70.00	278.06	2.00
C42	P49	6.88	75.00	219.37	1.36
C43	P1	4.96	75.00	227.53	1.01
C44	P2	7.35	70.00	216.45	0.22
C45	P5	2.95	70.00	191.01	0.41
C46	P6	4.28	70.00	151.53	0.19
C47	P7	4.12	70.00	200.04	0.07
C48	P11	5.17	70.00	142.74	0.32
C49	P12	5.38	70.00	334.06	0.48
C50	P16	13.06	60.00	511.77	0.42
C51	P26	5.18	70.00	232.27	0.83
C52	P14	3.35	60.00	182.89	0.03
C53	P17	6.55	60.00	360.02	0.20
C54	P27	5.87	60.00	343.67	0.63
C55	P28	13.48	70.00	275.69	0.26
C56	P42	11.89	70.00	349.20	0.31
C57	P43	8.64	70.00	251.85	1.59
C58	P45	7.95	70.00	414.48	1.77
C59	P56	8.56	80.00	349.86	0.23
C60	P58	8.64	80.00	243.07	0.53
C61	P63	12.09	80.00	243.48	1.19
C62	P50	9.23	70.00	1015.36	1.10
C63	P56	5.36	80.00	517.01	0.25
C64	P58	5.67	80.00	237.19	0.29
C65	P64	8.72	80.00	253.31	0.68
C66	P65	8.74	75.00	248.49	1.18
C67	P51	7.85	70.00	296.63	0.09
C68	P52	10.56	70.00	453.82	0.49
C69	P54	13.81	70.00	331.79	0.28
C70	P71	8.97	70.00	308.97	0.47
C71	P59	6.64	70.00	241.33	0.49
C72	P61	10.21	80.00	283.21	0.92
C73	P62	5.67	75.00	239.27	0.88
C74	P79	6.86	75.00	239.37	0.78
C75	P66	6.04	75.00	244.27	0.25
C76	P66	11.91	75.00	269.80	0.32
C77	P69	7.26	75.00	217.51	0.48
C78	P70	8.32	75.00	240.84	0.38
C79	P72	12.41	75.00	355.40	0.82
C80	P77	4.07	75.00	166.57	0.62
C81	P79	5.98	75.00	218.12	1.37
C82	P78	5.70	75.00	245.04	0.12
C83	P80	8.45	75.00	254.11	2.04

C84	P67	12.25	80.00	475.16	0.28
C85	P68	11.97	80.00	323.33	0.56
C86	P69	7.78	80.00	234.07	0.29
C87	P70	11.55	85.00	349.84	1.38
C88	P75	12.13	85.00	340.55	1.27
C89	P74	5.67	85.00	243.02	0.42
C90	P76	9.66	85.00	250.55	0.73

Fuente: propia

4.2.3.2. Infiltración

El método de Green-Ampt asume la existencia de un frente húmedo brusco en el suelo que separa el suelo con un determinado contenido inicial de humedad del suelo completamente saturado de la parte superior (Rossman, 2015, pág. 59).

En el anexo 2 se adjuntan los estudios de suelo en base a los cuales se ha elegido los parámetros para el método de Green-Ampt.

Los parámetros necesarios para el desarrollo se describen en la siguiente tabla:

Tabla 16: Parámetros de infiltración método Green-Ampt

Altura de Succión (mm)	Conductividad hidráulica saturada (mm/h)	Déficit inicial
240	0.51	0.109

Fuente: propia

Donde:

Déficit Inicial: Diferencia entre la porosidad del suelo y su capacidad ($\Phi-FC$).

4.2.3.3. Nudos

En los nudos se descarga la escorrentía superficial, la cota de fondo de los nudos es la misma que la de los conductos, y la altura (profundidad máxima) se considera desde la cota de fondo hasta el nivel de la superficie.

Tabla 17: Características de nudos

Nombre	Cota de Fondo	Profundidad Máxima
P1	84.92	2.70
P2	85.18	4.30
P3	85.29	3.70
P4	85.94	2.50
P5	86.56	2.00
P6	85.39	3.40
P7	85.56	3.10
P8	85.60	2.50
P9	85.65	2.00
P10	86.53	2.00
P11	85.64	3.50
P12	85.76	3.50
P13	85.80	4.00
P14	87.75	2.50
P15	87.01	2.00
P16	85.85	2.90
P17	87.37	2.50
P18	88.90	2.00
P19	86.03	2.30
P20	86.10	2.50
P21	86.94	2.00
P22	88.13	2.00
P23	89.34	2.00
P24	86.53	3.00
P25	86.77	2.00
P26	86.23	3.20
P27	86.33	2.20
P28	86.43	3.70
P29	86.63	2.30
P30	86.99	3.30
P31	90.33	3.00
P32	92.02	3.00
P33	89.87	4.50
P34	87.75	3.50

P35	88.54	2.00
P36	91.43	2.00
P37	88.34	3.20
P38	89.21	4.00
P39	90.26	4.00
P40	90.48	2.50
P41	90.50	2.50
P42	88.39	2.00
P43	88.81	2.00
P44	90.07	2.00
P45	90.56	3.50
P46	88.48	1.70
P47	89.00	3.00
P48	90.09	3.00
P49	91.75	3.00
P50	89.40	1.00
P51	88.02	3.10
P52	88.19	2.70
P53	88.36	3.30
P54	88.57	3.20
P55	88.62	2.80
P56	89.17	1.70
P57	88.93	2.20
P58	89.56	2.00
P59	88.77	4.00
P60	88.86	3.30
P61	89.76	3.00
P62	90.62	3.00
P63	91.32	2.00
P64	92.00	3.00
P65	92.27	3.50
P66	89.36	2.50
P67	89.96	2.50
P68	91.01	3.00
P69	91.36	3.00
P70	91.90	3.00
P71	90.27	2.00
P72	91.58	2.00
P73	93.42	2.00
P74	95.22	4.00
P75	94.02	2.00
P76	96.48	3.00
P77	94.52	4.00

P78	96.14	4.00
P79	94.13	3.00
P80	96.24	3.50

Fuente: Propia

4.2.3.4. Descargas

El área de estudio presenta tres puntos de descarga al río Moronacocha

Tabla 18: Resumen de descargas

Nombre	Cota de Fondo	Tipo
D1	84.85	FREE
D2	88.90	FREE
D3	87.56	FREE

Fuente: propia

4.2.3.5. Conductos

Los conductos están identificados el nudo de entrada y el nudo de salida, la longitud del conducto y coeficiente de manning de 0.013 (tubería de concreto armado).

Tabla 19: Características de los conductos

Nombre	Entrada	Salida	Longitud (m)	Coficiente de Manning
T1	P1	D1	90.74	0.013
T2	P1	P2	478.72	0.013
T3	P2	P3	163.77	0.013
T4	P5	P3	100.28	0.013
T5	P3	P6	119.07	0.013
T6	P6	P7	205.09	0.013
T7	P7	P8	132.67	0.013
T8	P8	P9	116.79	0.013
T9	P9	P4	328.75	0.013
T10	P10	P8	285.56	0.013

T11	P7	P11	129.25	0.013
T12	P11	P12	182.86	0.013
T13	P12	P13	114.22	0.013
T14	P13	P15	271.83	0.013
T15	P14	P13	269.23	0.013
T16	P13	P16	167.88	0.013
T17	P16	P18	563.06	0.013
T18	P17	P16	269.52	0.013
T19	P16	P19	274.46	0.013
T20	P19	P20	262.76	0.013
T21	P20	P21	126.38	0.013
T22	P21	P22	220.54	0.013
T23	P22	P23	329.28	0.013
T24	P20	P24	119.31	0.013
T25	P24	P25	136.77	0.013
T26	P19	P26	139.45	0.013
T27	P27	P26	227.75	0.013
T28	P26	P28	222.52	0.013
T29	P28	P29	237.29	0.013
T30	P29	P30	338.32	0.013
T31	P30	P31	457.33	0.013
T32	P31	P32	346.74	0.013
T33	P30	P33	503.47	0.013
T34	P33	P41	231.59	0.013
T35	P28	P34	351.23	0.013
T36	P34	P35	236.27	0.013
T37	P35	P36	551.24	0.013
T38	P34	P42	121.99	0.013
T39	P42	P43	250.52	0.013
T40	P43	P44	236.71	0.013
T41	P37	P30	901.85	0.013
T42	P37	P38	73.70	0.013
T43	P38	P39	489.57	0.013
T44	P39	P40	132.02	0.013
T45	P37	P46	118.26	0.013
T46	P46	P47	241.48	0.013
T47	P47	P48	429.56	0.013
T48	P43	P45	335.35	0.013
T49	P45	P49	497.85	0.013
T50	P50	D2	75.23	0.013
T51	D3	P51	259.03	0.013
T52	P51	P52	311.62	0.013
T53	P52	P66	381.60	0.013

T54	P67	P66	373.09	0.013
T55	P52	P53	265.63	0.013
T56	P53	P54	133.31	0.013
T57	P54	P68	629.06	0.013
T58	P68	P69	80.19	0.013
T59	P69	P70	219.15	0.013
T60	P70	P73	454.60	0.013
T61	P73	P74	109.02	0.013
T62	P73	P75	110.08	0.013
T63	P75	P76	237.29	0.013
T64	P54	P55	123.58	0.013
T65	P71	P55	397.01	0.013
T66	P55	P59	355.15	0.013
T67	P59	P60	128.26	0.013
T68	P60	P57	236.11	0.013
T69	P57	P56	118.29	0.013
T70	P57	P58	98.93	0.013
T71	P60	P72	277.27	0.013
T72	P60	P61	237.29	0.013
T73	P61	P63	476.26	0.013
T74	P63	P64	116.39	0.013
T75	P61	P62	128.76	0.013
T76	P62	P77	235.69	0.013
T77	P77	P78	156.34	0.013
T78	P62	P65	243.11	0.013
T79	P65	P79	303.88	0.013
T80	P79	P80	275.53	0.013

Fuente: propia

4.2.3.6. Secciones

Los conductos tienen sección rectangular cerrada (RECT_CLOSED) de base (Geom2) y altura (Geom1) variable.

Tabla 20: Secciones de los conductos:

Nombre	Forma	Geom1 (Altura) (m)	Geom2 (Base) (m)
T1	RECT_CLOSED	2.000	3.000
T2	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T3	RECT_CLOSED	2.100	3.000

T4	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T5	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T6	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T7	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T8	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T9	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T10	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T11	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T12	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T13	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T14	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T15	RECT_CLOSED	1.000	1.500
T16	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T17	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T18	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T19	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T20	RECT_CLOSED	2.000	2.000
T21	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T22	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T23	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T24	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T25	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T26	RECT_CLOSED	2.100	3.000
T27	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T28	RECT_CLOSED	2.000	3.000
T29	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T30	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T31	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T32	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T33	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T34	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T35	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T36	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T37	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T38	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T39	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T40	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T41	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T42	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T43	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T44	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T45	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T46	RECT_CLOSED	1.200	1.500

T47	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T48	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T49	RECT_CLOSED	0.500	1.000
T50	RECT_CLOSED	0.500	1.000
T51	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T52	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T53	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T54	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T55	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T56	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T57	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T58	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T59	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T60	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T61	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T62	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T63	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T64	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T65	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T66	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T67	RECT_CLOSED	1.750	2.000
T68	RECT_CLOSED	2.000	2.000
T69	RECT_CLOSED	1.500	2.000
T70	RECT_CLOSED	1.500	2.000
T71	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T72	RECT_CLOSED	1.500	1.500
T73	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T74	RECT_CLOSED	0.500	1.000
T75	RECT_CLOSED	1.200	1.500
T76	RECT_CLOSED	0.500	1.000
T77	RECT_CLOSED	0.500	1.000
T78	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T79	RECT_CLOSED	1.000	1.375
T80	RECT_CLOSED	1.000	1.375

Fuente: propia

4.3. Análisis e interpretación de resultados

El programa SWMM tiene la capacidad de obtener un reporte de los resultados obtenidos con el modelamiento, se pueden obtener los resultados de:

- Opciones de análisis: Resumen de los parámetros utilizados para el modelamiento, comprende los datos que fueron asignados a las condiciones iniciales para el modelamiento.
- Escorrentía superficial: Resultados del módulo hidrológico de la cuenca, comprende la precipitación total, pérdidas por infiltración, escorrentía superficial, almacenamiento y error de continuidad.
- Cálculo hidráulico: Resultados del módulo hidráulico de la cuenca.
- Escorrentía en las áreas: Resumen de los resultados del módulo hidrológico de las áreas tributarias.
- Nivel en nudos: Resumen del nivel de flujo de las aguas.
- Aporte en nudos: resumen del gasto y volumen lateral y total en los nudos.
- Inundación en nudos: Resumen del tiempo de inundación, caudal máximo y volumen total inundado en nudos.
- Resumen de Vertidos: Resultados de los caudales y volumen en los vertidos.
- Caudal en líneas: Resumen de los resultados de caudales máximos y el instante en el que ocurre, velocidad máxima y caudal máximo.

4.3.1. Resultados de la simulación

Los resultados obtenidos empleando el software SWMM del área de estudio se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 21: Escorrentía superficial

	Volumen	Altura
Escorrentía superficial	ha-m	mm
Precipitación total	20.553	28.977

Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas infiltración	2.200	3.101
Escorrentía superficial	15.238	21.483
Almacenamiento final en superficie	3.193	4.502
% Error continuidad	-0.377	

Fuente: propia

Tabla 22: Cálculo hidráulico

	Volumen	Volumen
Cálculo hidráulico	ha-m	10 ⁶ ltr
Aporte tiempo seco	0.000	0.000
Aporte tiempo lluvia	15.154	151.546
Aporte aguas subterráneas	0.000	0.000
Aportes dep. lluvia	0.000	0.000
Aportes externos	0.000	0.000
Descargas externas	13.599	135.987
Pérdidas almacenamiento	0.000	0.000
Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas exfiltración	0.000	0.000
Volumen almacenado inicial	0.000	0.000
Volumen almacenado final	1.586	16.304
% Error continuidad	-0.195	

Fuente: propia

Los resultados analizados corresponden a una serie temporal de 6 horas, con una precipitación total de 28.98 mm, la tabla 20 muestra el resumen de escorrentía en las áreas tributarias, en el que también se incluye el coeficiente de escorrentía calculado por el programa para cada área.

Tabla 23: Resumen de escorrentía en las áreas tributarias

Área	Total Precip	Total Infil	Escor. Total	Escor. Total	Escor. Punta	Coef. Escor.
------	--------------	-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

	mm	mm	mm	10 ⁶ ltr	LPS	
C1	28.98	2.65	19.31	0.64	88.17	0.667
C2	28.98	2.64	21.64	1.81	311.15	0.747
C3	28.98	3.30	20.10	1.45	233.10	0.694
C4	28.98	2.64	21.81	1.66	291.26	0.753
C5	28.98	1.32	23.83	2.98	570.89	0.823
C6	28.98	2.64	22.89	1.18	237.24	0.790
C7	28.98	3.97	19.41	1.48	242.10	0.670
C8	28.98	3.96	20.11	1.04	179.55	0.694
C9	28.98	2.64	22.56	1.21	233.13	0.778
C10	28.98	2.64	22.57	0.72	137.81	0.779
C11	28.98	2.64	22.88	1.99	400.14	0.790
C12	28.98	3.95	21.79	1.39	285.75	0.752
C13	28.98	3.95	21.89	1.32	275.61	0.755
C14	28.98	3.96	21.23	1.87	359.04	0.733
C15	28.98	2.63	23.07	2.21	454.72	0.796
C16	28.98	2.64	22.07	1.03	185.37	0.761
C17	28.98	2.63	23.14	0.90	188.10	0.798
C18	28.98	2.64	22.73	1.85	363.68	0.784
C19	28.98	1.98	22.46	1.98	343.53	0.775
C20	28.98	2.64	22.35	4.42	827.17	0.771
C21	28.98	1.98	23.47	1.93	385.29	0.810
C22	28.98	3.96	21.09	1.38	260.68	0.728
C23	28.98	3.96	21.00	1.56	293.47	0.725
C24	28.98	1.98	22.39	3.13	538.77	0.773
C25	28.98	1.98	23.28	2.73	529.26	0.803
C26	28.98	1.98	23.03	1.86	347.15	0.795
C27	28.98	1.32	23.97	2.02	395.11	0.827
C28	28.98	2.64	22.22	2.75	505.41	0.767
C29	28.98	1.32	24.06	2.70	534.41	0.830
C30	28.98	2.63	22.96	1.83	371.62	0.793
C31	28.98	2.64	21.62	1.64	281.79	0.746
C32	28.98	3.30	22.01	1.93	376.85	0.760
C33	28.98	5.28	18.69	1.34	234.00	0.645
C34	28.98	3.96	20.54	1.31	235.68	0.709
C35	28.98	1.32	23.34	0.81	143.85	0.806
C36	28.98	1.32	23.34	0.52	93.16	0.806
C37	28.98	1.98	22.56	1.78	313.36	0.779
C38	28.98	3.97	18.32	1.63	243.50	0.632
C39	28.98	2.64	22.27	1.83	338.51	0.769
C40	28.98	3.95	21.61	1.41	282.80	0.746
C41	28.98	3.30	21.87	1.50	288.16	0.755
C42	28.98	3.30	22.12	1.10	216.50	0.763

C43	28.98	3.97	19.23	1.41	227.23	0.664
C44	28.98	3.96	21.20	0.63	119.66	0.732
C45	28.98	3.96	19.48	0.83	136.99	0.672
C46	28.98	3.97	19.05	0.79	124.43	0.658
C47	28.98	3.96	19.51	1.01	165.98	0.673
C48	28.98	3.96	21.24	1.14	219.90	0.733
C49	28.98	5.28	18.66	2.44	424.88	0.644
C50	28.98	3.96	21.18	1.10	209.65	0.731
C51	28.98	5.29	16.33	0.55	82.34	0.564
C52	28.98	5.28	18.60	1.22	211.60	0.642
C53	28.98	5.28	19.67	1.16	215.47	0.679
C54	28.98	3.97	18.52	2.50	378.48	0.639
C55	28.98	3.96	19.61	2.33	387.09	0.677
C56	28.98	3.96	21.04	1.82	342.34	0.726
C57	28.98	3.95	21.74	1.73	352.15	0.750
C58	28.98	2.64	21.72	1.86	322.51	0.749
C59	28.98	2.64	21.79	1.88	329.77	0.752
C60	28.98	2.64	21.91	2.65	470.31	0.756
C61	28.98	3.95	22.10	2.04	440.90	0.763
C62	28.98	2.64	22.92	1.23	247.98	0.791
C63	28.98	2.64	21.96	1.24	221.94	0.758
C64	28.98	2.64	22.05	1.92	347.14	0.761
C65	28.98	3.30	21.62	1.89	352.22	0.746
C66	28.98	3.97	18.74	1.47	227.10	0.647
C67	28.98	3.96	20.75	2.19	401.28	0.716
C68	28.98	3.97	19.03	2.63	415.57	0.657
C69	28.98	3.96	20.34	1.82	322.38	0.702
C70	28.98	3.96	20.47	1.36	243.08	0.707
C71	28.98	2.64	22.21	2.27	417.26	0.767
C72	28.98	3.30	21.95	1.24	240.41	0.757
C73	28.98	3.30	21.62	1.48	276.45	0.746
C74	28.98	3.30	20.93	1.26	219.42	0.722
C75	28.98	3.30	19.96	2.38	376.02	0.689
C76	28.98	3.30	20.98	1.52	265.43	0.724
C77	28.98	3.30	20.69	1.72	291.73	0.714
C78	28.98	3.30	21.36	2.65	480.22	0.737
C79	28.98	3.30	21.68	0.88	165.42	0.748
C80	28.98	3.30	22.03	1.32	257.36	0.760
C81	28.98	3.30	20.31	1.16	189.22	0.701
C82	28.98	3.30	22.04	1.86	364.00	0.761
C83	28.98	2.64	21.80	2.67	467.86	0.752
C84	28.98	2.64	21.77	2.61	455.06	0.751
C85	28.98	2.64	21.35	1.66	277.05	0.737

C86	28.98	1.98	23.35	2.70	527.01	0.806
C87	28.98	1.98	23.21	2.81	539.56	0.801
C88	28.98	1.98	23.04	1.31	244.65	0.795
C89	28.98	1.98	22.71	2.19	393.32	0.784

Fuente: propia

En la tabla 21 se muestra el resumen del nivel de agua medio y máximo respecto a la cota de rasante del canal.

Tabla 24: Resumen del nivel de nudos

Nudo	Tipo	Nivel Medio Metros	Nivel Máximo Metros	Instante Nivel máximo hr:min	Altura Máxima Reportada Metros
P1	JUNCTION	0.55	1.29	3:49	1.26
P2	JUNCTION	0.76	1.78	3:47	1.74
P3	JUNCTION	0.76	1.82	3:47	1.78
P4	JUNCTION	0.49	1.43	3:46	1.40
P5	JUNCTION	0.10	0.55	3:47	0.51
P6	JUNCTION	0.75	1.81	3:47	1.78
P7	JUNCTION	0.74	1.81	3:46	1.78
P8	JUNCTION	0.72	1.77	3:48	1.74
P9	JUNCTION	0.68	1.72	3:47	1.69
P10	JUNCTION	0.20	0.85	3:49	0.79
P11	JUNCTION	0.75	1.82	3:46	1.80
P12	JUNCTION	0.75	1.82	3:45	1.80
P13	JUNCTION	0.77	1.85	3:45	1.84
P14	JUNCTION	0.02	0.06	3:21	0.06
P15	JUNCTION	0.13	0.65	3:47	0.64
P16	JUNCTION	0.80	1.90	3:43	1.90
P17	JUNCTION	0.07	0.40	3:43	0.36
P18	JUNCTION	0.05	0.14	3:20	0.14
P19	JUNCTION	0.76	1.85	3:40	1.85
P20	JUNCTION	0.73	1.80	3:41	1.79
P21	JUNCTION	0.23	0.96	3:42	0.95
P22	JUNCTION	0.10	0.26	3:21	0.26
P23	JUNCTION	0.08	0.22	3:21	0.21
P24	JUNCTION	0.44	1.37	3:40	1.37
P25	JUNCTION	0.30	1.13	3:40	1.13
P26	JUNCTION	0.65	1.68	3:41	1.68
P27	JUNCTION	0.57	1.59	3:40	1.59

P28	JUNCTION	0.60	1.57	3:37	1.56
P29	JUNCTION	0.54	1.49	3:36	1.48
P30	JUNCTION	0.48	1.35	3:32	1.31
P31	JUNCTION	0.09	0.26	3:21	0.26
P32	JUNCTION	0.05	0.13	3:20	0.13
P33	JUNCTION	0.05	0.14	3:22	0.14
P34	JUNCTION	0.27	0.80	3:24	0.75
P35	JUNCTION	0.11	0.31	3:22	0.30
P36	JUNCTION	0.06	0.17	3:21	0.17
P37	JUNCTION	0.31	0.89	3:25	0.83
P38	JUNCTION	0.12	0.33	3:21	0.32
P39	JUNCTION	0.12	0.36	3:21	0.36
P40	JUNCTION	0.09	0.25	3:20	0.25
P41	JUNCTION	0.04	0.11	3:20	0.11
P42	JUNCTION	0.23	0.66	3:23	0.64
P43	JUNCTION	0.25	0.73	3:22	0.71
P44	JUNCTION	0.05	0.14	3:20	0.14
P45	JUNCTION	0.10	0.30	3:21	0.29
P46	JUNCTION	0.27	0.83	3:24	0.78
P47	JUNCTION	0.17	0.50	3:22	0.49
P48	JUNCTION	0.13	0.37	3:20	0.37
P49	JUNCTION	0.09	0.24	3:21	0.24
P50	JUNCTION	0.08	0.24	3:20	0.24
P51	JUNCTION	0.59	1.39	3:41	1.39
P52	JUNCTION	0.78	1.82	3:39	1.82
P53	JUNCTION	0.79	2.01	3:27	2.00
P54	JUNCTION	0.71	2.03	3:27	1.96
P55	JUNCTION	0.71	2.05	3:27	1.96
P56	JUNCTION	0.45	1.62	3:41	1.61
P57	JUNCTION	0.62	1.86	3:40	1.85
P58	JUNCTION	0.24	1.23	3:40	1.22
P59	JUNCTION	0.70	1.96	3:38	1.95
P60	JUNCTION	0.66	1.92	3:38	1.90
P61	JUNCTION	0.31	1.09	3:40	1.09
P62	JUNCTION	0.15	0.44	3:22	0.43
P63	JUNCTION	0.12	0.32	3:21	0.32
P64	JUNCTION	0.08	0.21	3:20	0.21
P65	JUNCTION	0.13	0.36	3:21	0.36
P66	JUNCTION	0.19	0.67	3:31	0.66
P67	JUNCTION	0.11	0.30	3:21	0.30
P68	JUNCTION	0.21	0.57	3:24	0.54
P69	JUNCTION	0.22	0.64	3:23	0.62
P70	JUNCTION	0.23	0.66	3:22	0.64

P71	JUNCTION	0.07	0.33	3:40	0.33
P72	JUNCTION	0.06	0.16	3:20	0.16
P73	JUNCTION	0.14	0.41	3:22	0.40
P74	JUNCTION	0.03	0.09	3:20	0.09
P75	JUNCTION	0.11	0.32	3:20	0.32
P76	JUNCTION	0.06	0.15	3:20	0.15
P77	JUNCTION	0.06	0.15	3:20	0.15
P78	JUNCTION	0.05	0.12	3:20	0.12
P79	JUNCTION	0.11	0.30	3:21	0.30
P80	JUNCTION	0.06	0.15	3:20	0.15
D1	OUTFALL	0.45	1.11	3:49	1.08
D2	OUTFALL	0.08	0.24	3:20	0.24
D3	OUTFALL	0.46	1.08	3:41	1.08

Fuente: propia

Según los resultados obtenidos con el programa, ninguno de los nudos sufre de inundaciones.

En la tabla 22 se muestra el aporte lateral y total (acumulado) máximos por nudo, junto con el instante en el que ocurre el aporte máximo.

Tabla 25: Aporte en nudos

Nudo	Tipo	Aporte Lateral Máximo LPS	Aporte Total Máximo LPS	Instante de Aporte Máximo hr:min	Volumen Aporte Lateral 10 ⁶ ltr	Volumen Aporte Total 10 ⁶ ltr
P1	JUNCTION	216.50	10965.66	3:48	1.09	81.00
P2	JUNCTION	460.33	10870.40	3:46	2.85	80.90
P3	JUNCTION	0.00	10573.65	3:45	0.00	78.50
P4	JUNCTION	88.17	341.28	3:25	0.64	1.09
P5	JUNCTION	119.66	119.66	3:20	0.62	0.62
P6	JUNCTION	136.99	10524.36	3:45	0.83	78.30
P7	JUNCTION	124.43	10472.21	3:43	0.78	78.20
P8	JUNCTION	291.26	841.18	4:01	1.65	7.14
P9	JUNCTION	311.15	611.46	3:25	1.80	3.35
P10	JUNCTION	570.89	570.89	3:20	2.97	2.97
P11	JUNCTION	403.21	9843.14	3:39	2.18	71.90
P12	JUNCTION	219.90	9663.99	3:38	1.14	70.10
P13	JUNCTION	0.00	9666.65	3:38	0.00	69.70
P14	JUNCTION	82.34	82.34	3:20	0.54	0.54

P15	JUNCTION	275.61	275.61	3:20	1.32	1.32
P16	JUNCTION	658.89	9728.19	3:31	3.76	69.00
P17	JUNCTION	211.60	211.60	3:20	1.21	1.21
P18	JUNCTION	285.75	285.75	3:20	1.39	1.39
P19	JUNCTION	235.68	9114.66	3:34	1.30	63.30
P20	JUNCTION	293.47	1912.46	3:21	1.56	12.90
P21	JUNCTION	260.68	1002.94	3:20	1.37	5.68
P22	JUNCTION	359.04	766.96	3:20	1.86	4.35
P23	JUNCTION	421.64	421.64	3:20	2.50	2.50
P24	JUNCTION	534.41	977.34	3:18	2.69	5.79
P25	JUNCTION	538.77	538.77	3:20	3.11	3.11
P26	JUNCTION	302.81	7675.07	3:29	1.61	50.00
P27	JUNCTION	215.47	215.47	3:20	1.15	1.15
P28	JUNCTION	691.84	7494.55	3:28	4.25	47.80
P29	JUNCTION	143.85	4222.98	3:31	0.80	26.80
P30	JUNCTION	529.26	4768.39	3:23	2.72	26.90
P31	JUNCTION	642.83	868.10	3:20	3.10	4.29
P32	JUNCTION	233.13	233.13	3:20	1.21	1.21
P33	JUNCTION	185.37	318.93	3:20	1.02	1.73
P34	JUNCTION	0.00	3028.65	3:23	0.00	17.10
P35	JUNCTION	371.62	701.63	3:20	1.82	3.65
P36	JUNCTION	347.15	347.15	3:20	1.85	1.85
P37	JUNCTION	343.53	3368.52	3:21	1.97	18.50
P38	JUNCTION	827.17	1543.44	3:20	4.40	8.16
P39	JUNCTION	363.68	758.40	3:20	1.84	3.82
P40	JUNCTION	400.14	400.14	3:20	1.98	1.98
P41	JUNCTION	137.81	137.81	3:20	0.71	0.71
P42	JUNCTION	630.59	2361.85	3:22	3.94	13.60
P43	JUNCTION	680.84	1828.92	3:20	3.62	9.80
P44	JUNCTION	281.79	281.79	3:20	1.63	1.63
P45	JUNCTION	634.95	906.53	3:20	3.12	4.60
P46	JUNCTION	385.29	1566.65	3:21	1.92	8.47
P47	JUNCTION	395.11	1247.86	3:20	2.01	6.63
P48	JUNCTION	882.26	882.26	3:20	4.65	4.65
P49	JUNCTION	288.16	288.16	3:20	1.50	1.50
P50	JUNCTION	440.90	440.90	3:20	2.03	2.03
P51	JUNCTION	227.10	7058.27	3:40	1.46	53.40
P52	JUNCTION	401.28	7077.16	3:27	2.18	52.70
P53	JUNCTION	0.00	6064.99	3:27	0.00	44.70
P54	JUNCTION	415.57	6443.63	3:25	2.61	45.30
P55	JUNCTION	0.00	3759.05	3:25	0.00	27.10
P56	JUNCTION	570.49	570.49	3:20	3.07	3.07
P57	JUNCTION	0.00	973.40	3:20	0.00	6.14

P58	JUNCTION	551.70	551.70	3:20	3.11	3.11
P59	JUNCTION	243.08	3697.02	3:24	1.35	25.60
P60	JUNCTION	0.00	3933.83	3:22	0.00	24.70
P61	JUNCTION	417.26	2952.28	3:21	2.26	16.40
P62	JUNCTION	240.41	1779.61	3:21	1.24	9.68
P63	JUNCTION	470.31	814.29	3:20	2.63	4.54
P64	JUNCTION	347.14	347.14	3:20	1.91	1.91
P65	JUNCTION	352.22	1217.10	3:20	1.88	6.47
P66	JUNCTION	595.43	1040.53	3:20	3.62	6.25
P67	JUNCTION	467.86	467.86	3:20	2.66	2.66
P68	JUNCTION	455.06	2809.96	3:22	2.59	16.20
P69	JUNCTION	542.49	2390.52	3:22	3.17	13.60
P70	JUNCTION	818.74	1909.31	3:20	4.39	10.60
P71	JUNCTION	322.38	322.38	3:20	1.81	1.81
P72	JUNCTION	480.22	480.22	3:20	2.64	2.64
P73	JUNCTION	0.00	1159.11	3:20	0.00	6.25
P74	JUNCTION	244.65	244.65	3:20	1.30	1.30
P75	JUNCTION	539.56	926.42	3:20	2.80	4.97
P76	JUNCTION	393.32	393.32	3:20	2.18	2.18
P77	JUNCTION	165.42	352.21	3:20	0.88	2.02
P78	JUNCTION	189.22	189.22	3:20	1.15	1.15
P79	JUNCTION	533.81	891.19	3:20	2.79	4.63
P80	JUNCTION	364.00	364.00	3:20	1.85	1.85
D1	OUTFALL	0.00	10964.20	3:49	0.00	80.50
D2	OUTFALL	0.00	439.99	3:20	0.00	2.03
D3	OUTFALL	0.00	7043.66	3:41	0.00	53.10

Fuente: propia

En la tabla 23 se resume el caudal medio y máximo de las descargas de la cuenca, y el volumen total que se descarga.

Tabla 26: Resumen de vertidos

Nudo de Vertido	Frec. Vertido %	Caudal Medio LPS	Caudal Máximo LPS	Volumen Total 10 ⁶ ltr
D1	89.45	4161.43	10964.20	80.45
D2	93.85	99.98	439.99	2.03
D3	88.76	2765.86	7043.66	53.06
Sistema	90.69	7027.26	7043.66	135.54

Fuente: Propia

La tabla 24 resume el caudal máximo y velocidad en cada conducto del sistema y el instante en el que ocurre.

Tabla 27: Caudal y velocidad en los conductos

Conducto	Tipo	Caudal Máximo LPS	Instante Caudal Máx. hr:min	Velocidad Máxima m/sec	Caudal Máximo Lleno	Nivel Máximo Lleno
T1	CONDUIT	10964.20	3:49	3.05	1.20	0.60
T2	CONDUIT	10864.34	3:48	2.36	1.33	0.73
T3	CONDUIT	10561.82	3:46	1.96	1.16	0.86
T4	CONDUIT	119.09	3:20	0.31	0.01	0.68
T5	CONDUIT	10512.01	3:46	1.93	1.03	0.86
T6	CONDUIT	10435.35	3:45	1.92	1.03	0.86
T7	CONDUIT	935.47	4:02	0.23	0.16	0.89
T8	CONDUIT	432.58	4:01	0.15	0.06	0.87
T9	CONDUIT	256.23	3:25	0.15	0.03	0.79
T10	CONDUIT	521.28	3:17	0.41	0.06	0.74
T11	CONDUIT	9799.15	3:41	1.88	1.12	0.86
T12	CONDUIT	9587.02	3:40	1.82	1.06	0.87
T13	CONDUIT	9531.28	3:38	1.79	1.45	0.87
T14	CONDUIT	266.36	3:19	0.36	0.06	0.76
T15	CONDUIT	80.53	3:21	0.10	0.02	0.53
T16	CONDUIT	9500.99	3:38	1.76	1.57	0.89
T17	CONDUIT	276.50	3:20	0.28	0.06	0.56
T18	CONDUIT	207.84	3:20	0.19	0.03	0.63
T19	CONDUIT	8969.52	3:35	1.66	1.00	0.89
T20	CONDUIT	1556.51	3:37	0.60	0.49	0.91
T21	CONDUIT	892.67	3:21	0.56	0.07	0.77
T22	CONDUIT	752.37	3:21	1.75	0.11	0.39
T23	CONDUIT	413.01	3:21	1.25	0.15	0.24
T24	CONDUIT	820.48	3:18	0.41	0.08	0.89
T25	CONDUIT	470.75	3:24	0.55	0.07	0.71
T26	CONDUIT	7457.71	3:30	1.48	0.56	0.84
T27	CONDUIT	147.80	3:54	0.13	0.04	0.93
T28	CONDUIT	7343.45	3:30	1.58	0.75	0.81
T29	CONDUIT	4177.10	3:32	1.38	0.89	0.87
T30	CONDUIT	4110.89	3:31	1.47	0.78	0.81
T31	CONDUIT	843.71	3:21	0.89	0.11	0.52
T32	CONDUIT	227.74	3:20	0.85	0.07	0.20
T33	CONDUIT	306.13	3:22	0.33	0.04	0.49

T34	CONDUIT	134.75	3:20	0.76	0.06	0.13
T35	CONDUIT	2997.25	3:24	1.85	0.54	0.76
T36	CONDUIT	671.49	3:22	0.90	0.25	0.55
T37	CONDUIT	335.32	3:21	1.03	0.10	0.24
T38	CONDUIT	2360.06	3:23	2.38	0.70	0.73
T39	CONDUIT	1762.58	3:23	1.70	0.65	0.58
T40	CONDUIT	277.83	3:20	0.43	0.06	0.36
T41	CONDUIT	3222.45	3:25	1.53	0.51	0.63
T42	CONDUIT	1527.67	3:21	1.74	0.16	0.40
T43	CONDUIT	732.45	3:21	1.42	0.18	0.23
T44	CONDUIT	396.35	3:20	0.86	0.11	0.21
T45	CONDUIT	1520.27	3:22	1.20	0.49	0.57
T46	CONDUIT	1208.74	3:22	1.22	0.39	0.55
T47	CONDUIT	859.79	3:21	1.32	0.26	0.36
T48	CONDUIT	882.00	3:21	1.16	0.18	0.42
T49	CONDUIT	276.01	3:21	1.02	0.48	0.54
T50	CONDUIT	439.99	3:20	1.86	0.46	0.47
T51	CONDUIT	7043.66	3:41	2.85	1.03	0.71
T52	CONDUIT	6880.22	3:40	2.19	1.82	0.90
T53	CONDUIT	963.17	3:20	0.68	0.19	0.72
T54	CONDUIT	452.79	3:21	0.95	0.24	0.47
T55	CONDUIT	6112.67	3:27	1.76	1.49	1.00
T56	CONDUIT	6064.99	3:27	1.73	0.94	1.00
T57	CONDUIT	2785.77	3:24	1.30	0.28	0.66
T58	CONDUIT	2386.80	3:23	2.64	0.54	0.50
T59	CONDUIT	1882.94	3:23	1.94	0.57	0.54
T60	CONDUIT	1130.11	3:22	1.41	0.29	0.45
T61	CONDUIT	243.88	3:20	0.72	0.04	0.25
T62	CONDUIT	919.06	3:21	1.83	0.27	0.37
T63	CONDUIT	389.61	3:20	1.20	0.08	0.24
T64	CONDUIT	3586.99	4:00	1.07	1.10	1.00
T65	CONDUIT	313.71	3:21	0.34	0.05	0.61
T66	CONDUIT	3474.71	3:25	1.06	1.04	1.00
T67	CONDUIT	3485.87	3:24	1.13	0.81	1.00
T68	CONDUIT	923.99	3:37	0.27	0.28	0.94
T69	CONDUIT	489.80	3:20	0.28	0.08	1.00
T70	CONDUIT	493.09	3:20	0.36	0.05	0.91
T71	CONDUIT	474.96	3:20	0.47	0.07	0.57
T72	CONDUIT	2893.63	3:23	1.71	0.52	0.86
T73	CONDUIT	790.94	3:21	0.97	0.21	0.56
T74	CONDUIT	345.43	3:20	1.30	0.39	0.53
T75	CONDUIT	1767.54	3:22	1.95	0.32	0.60
T76	CONDUIT	348.46	3:21	1.19	0.23	0.59

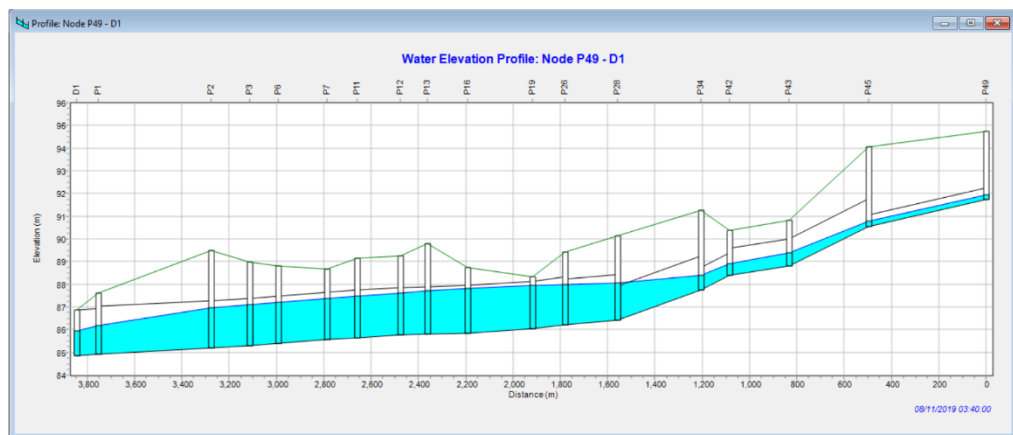
T77	CONDUIT	187.96	3:20	1.42	0.16	0.26
T78	CONDUIT	1203.97	3:21	2.19	0.32	0.40
T79	CONDUIT	873.16	3:21	1.92	0.24	0.33
T80	CONDUIT	359.58	3:20	1.15	0.09	0.23

Fuente: propia

4.3.2. Perfiles de lámina de agua

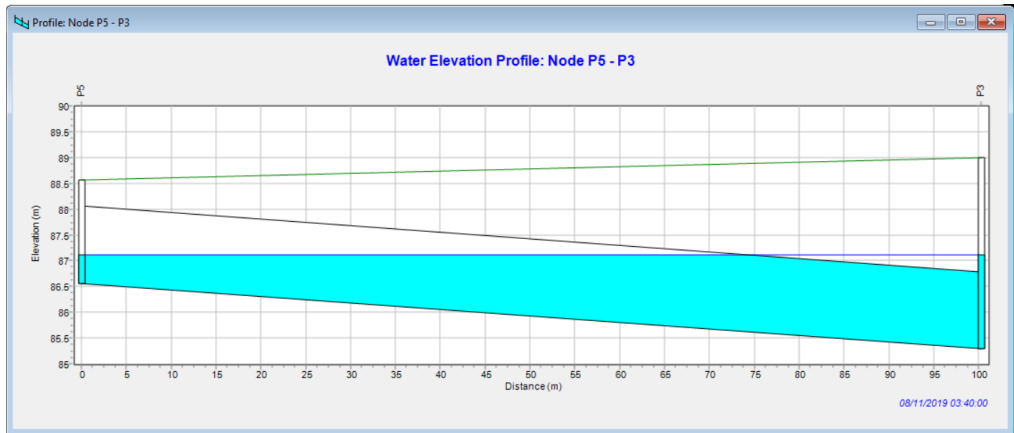
Las figuras 24 al 51 grafican el perfil de lámina de agua en cada dren del sistema, muestran la variación de profundidad del agua a lo largo de la trayectoria de cada dren y nudo en un determinado tiempo. Creado el diagrama es posible actualizar el tiempo cada vez que se desee observar el resultado de la simulación en un tiempo determinado. Para las siguientes gráficas se seleccionó el tiempo 03:40 horas en donde la profundidad del agua se encuentra en su punto mayor.

Figura 31: perfil de lámina de agua del nudo P49 a la descarga D1



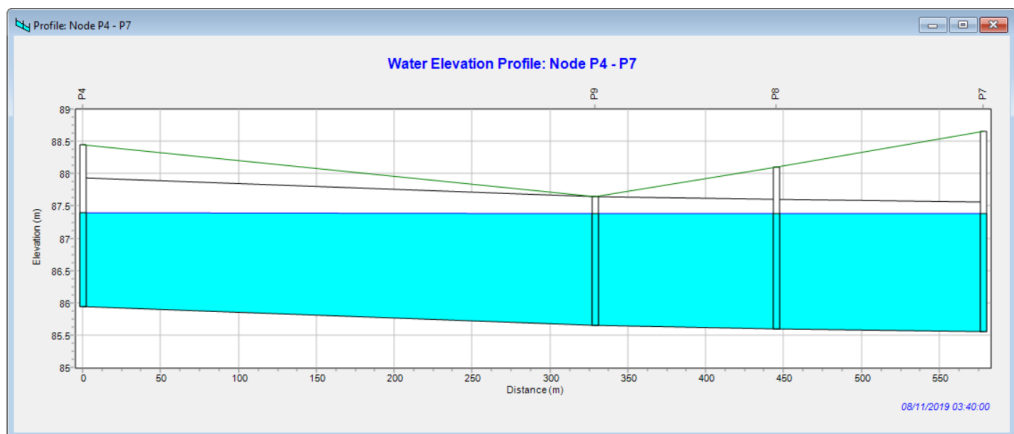
Fuente: propia

Figura 32: perfil de lámina de agua del nudo P5 al nudo P3



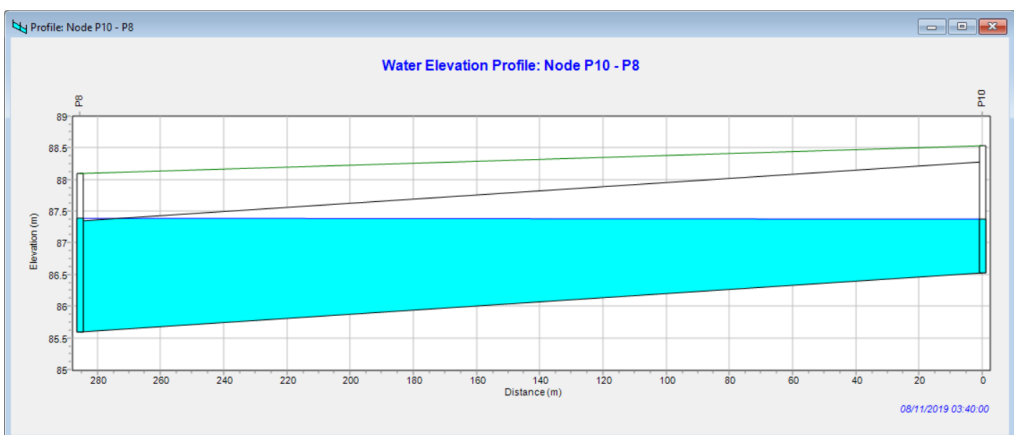
Fuente: propia

Figura 33: perfil de lámina de agua del nudo P4 al nudo P7



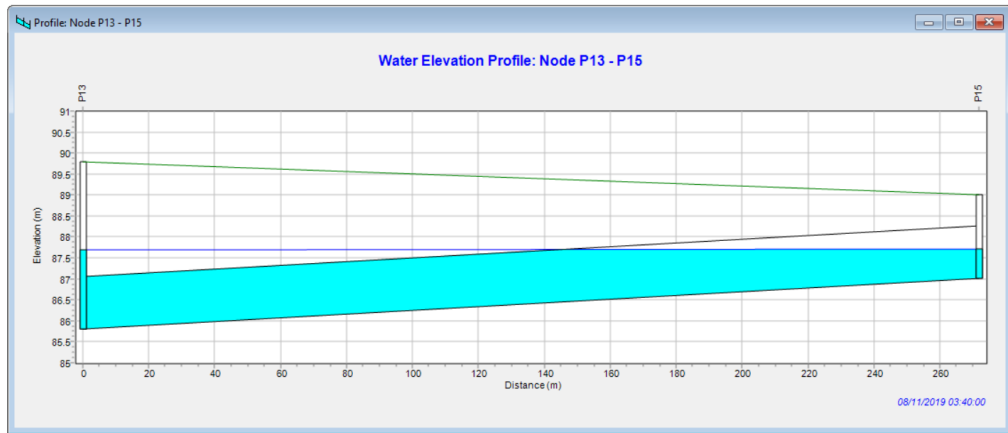
Fuente: propia

Figura 34: perfil de lámina de agua del nudo P10 al nudo P8



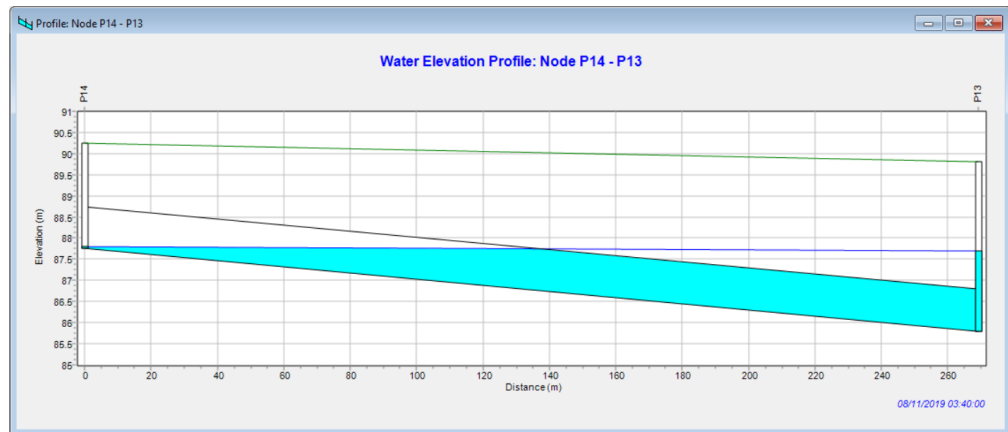
Fuente: propia

Figura 35: perfil de lámina de agua del nudo P15 al nudo P13



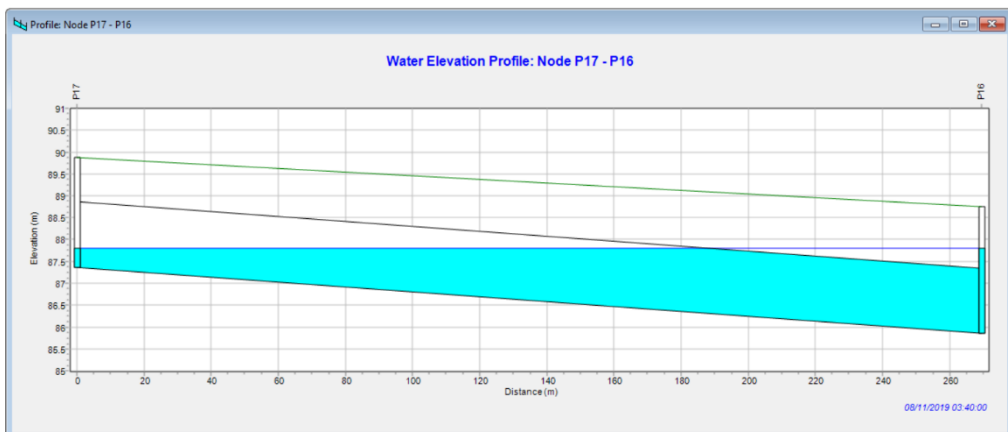
Fuente: propia

Figura 36: perfil de lámina de agua del nudo P14 al nudo P13



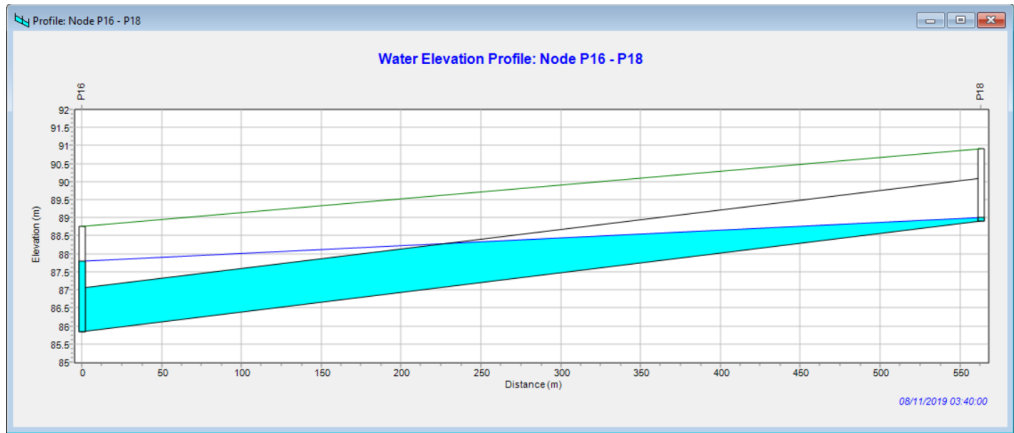
Fuente: propia

Figura 37: perfil de lámina de agua del nudo P17 al nudo P16



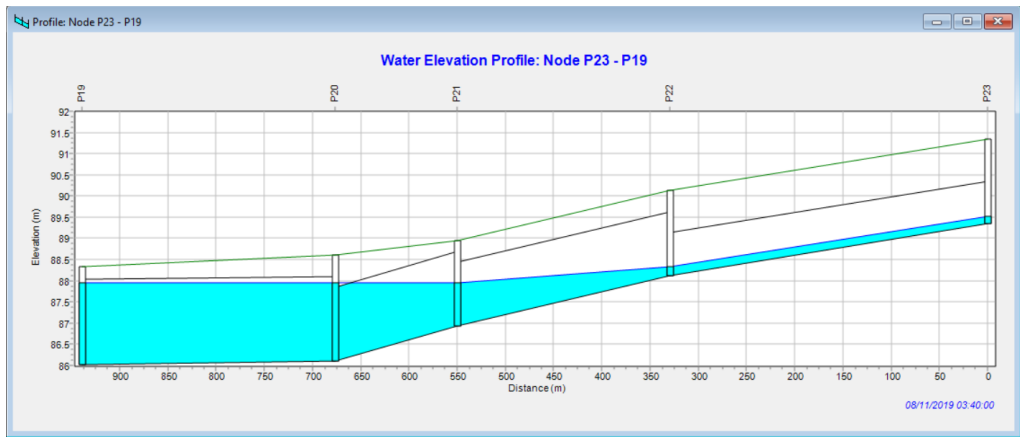
Fuente: propia

Figura 38: perfil de lámina de agua del nudo P18 al nudo P16



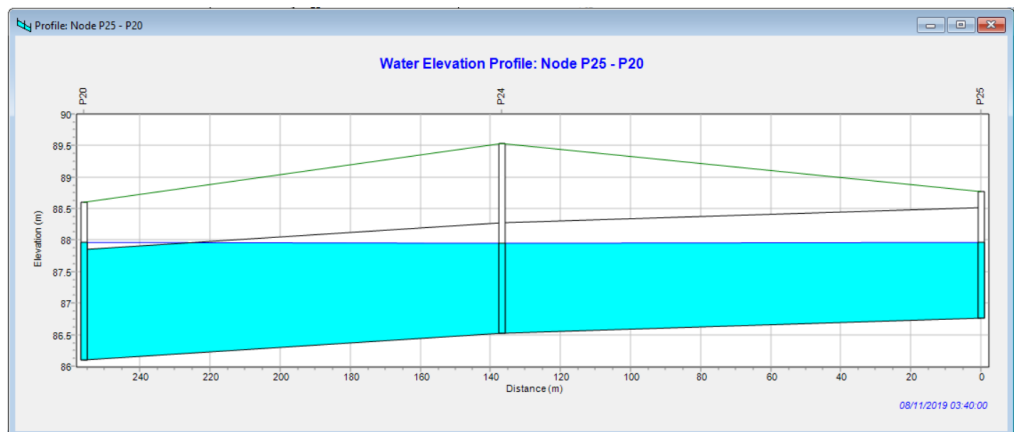
Fuente: propia

Figura 39: perfil de lámina de agua del nudo P23 al nudo P19



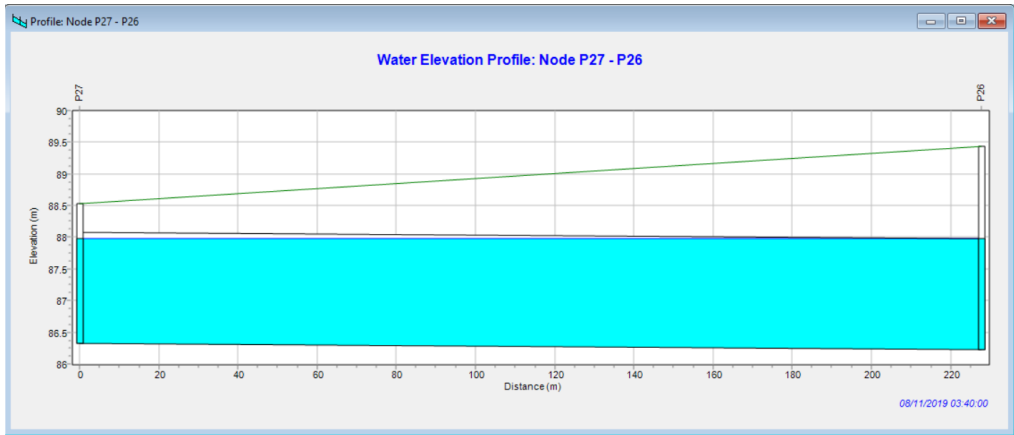
Fuente: propia

Figura 40: perfil de lámina de agua del nudo P25 al nudo P20



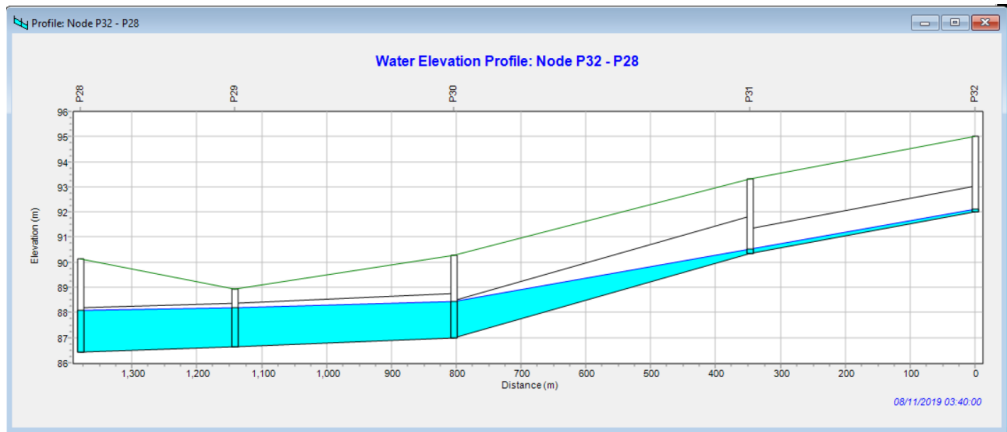
Fuente: propia

Figura 41: perfil de lámina de agua del nudo P27 al nudo P26



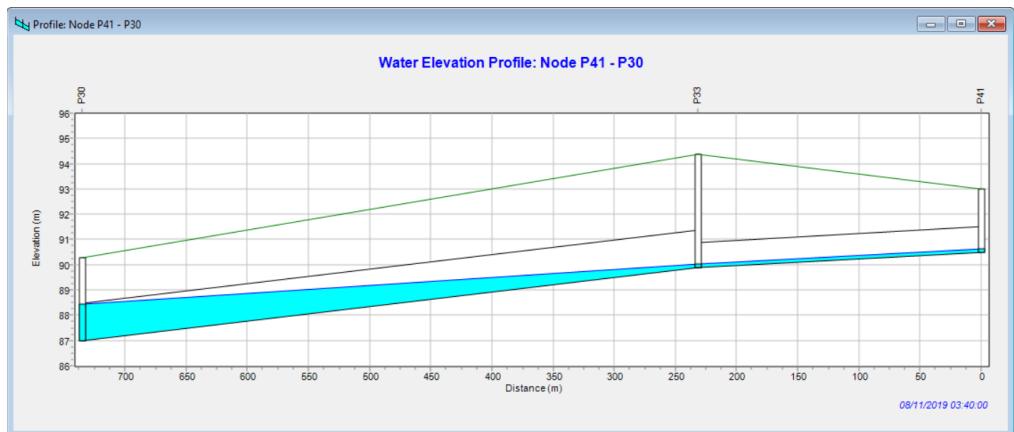
Fuente: propia

Figura 42: perfil de lámina de agua del nudo P32 al nudo P28



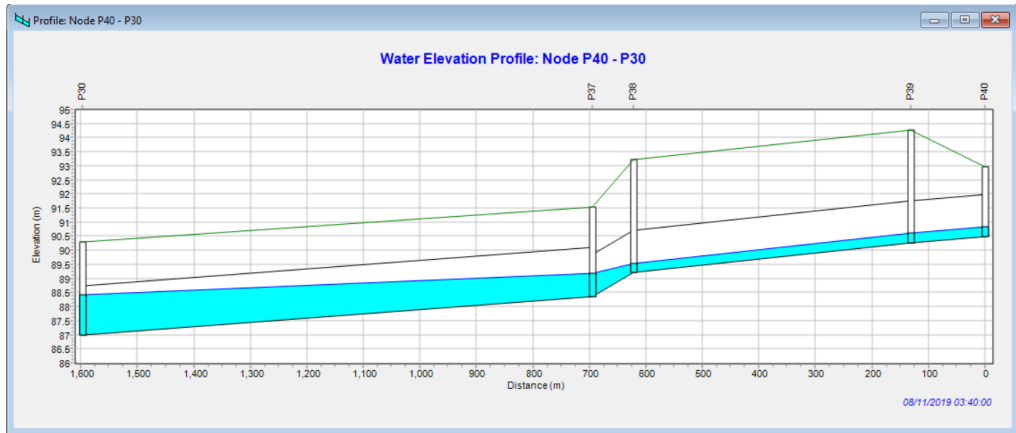
Fuente: propia

Figura 43: perfil de lámina de agua del nudo P41 al nudo P30



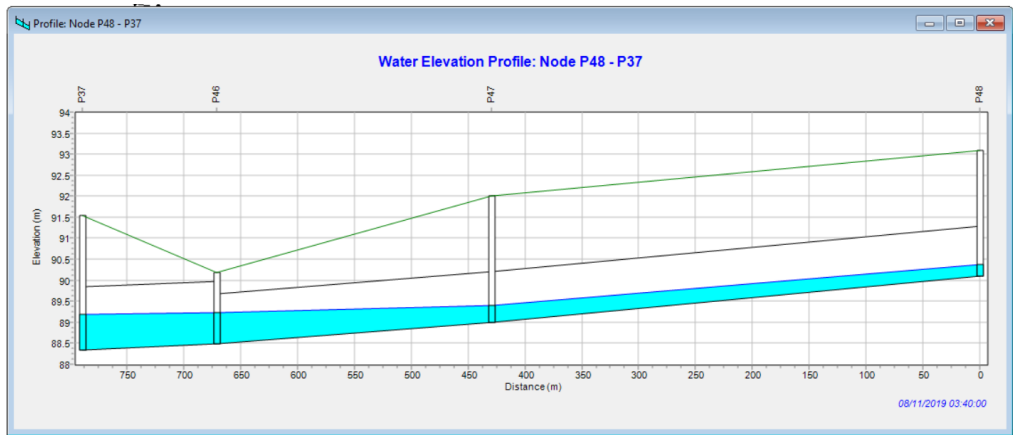
Fuente: propia

Figura 44: perfil de lámina de agua del nudo P40 al nudo P30



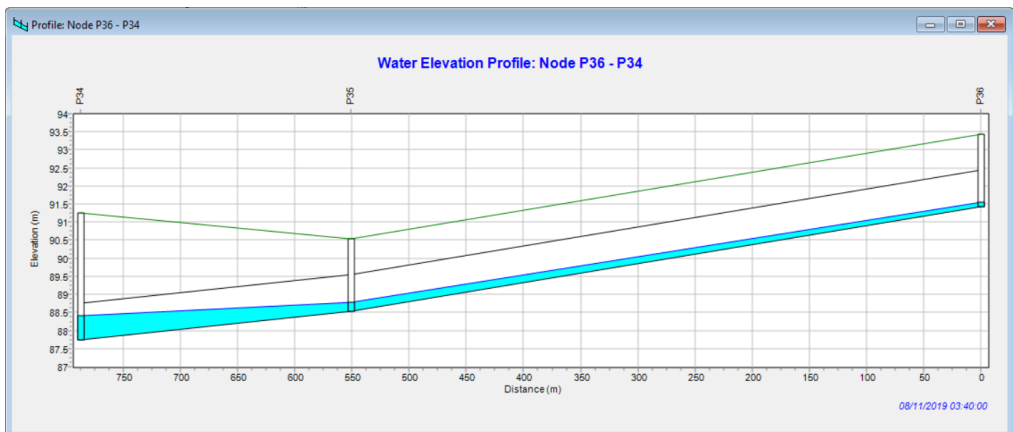
Fuente: propia

Figura 45: perfil de lámina de agua del nudo P40 al nudo P30



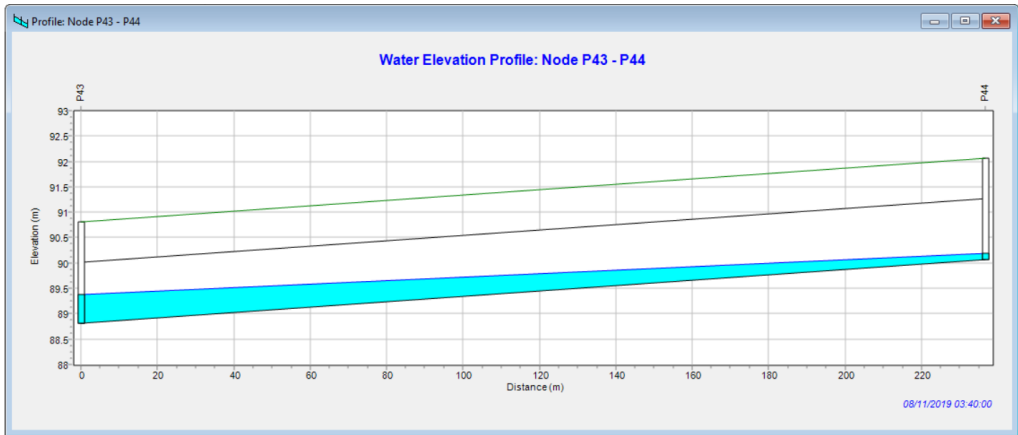
Fuente: propia

Figura 46: perfil de lámina de agua del nudo P36 al nudo P34



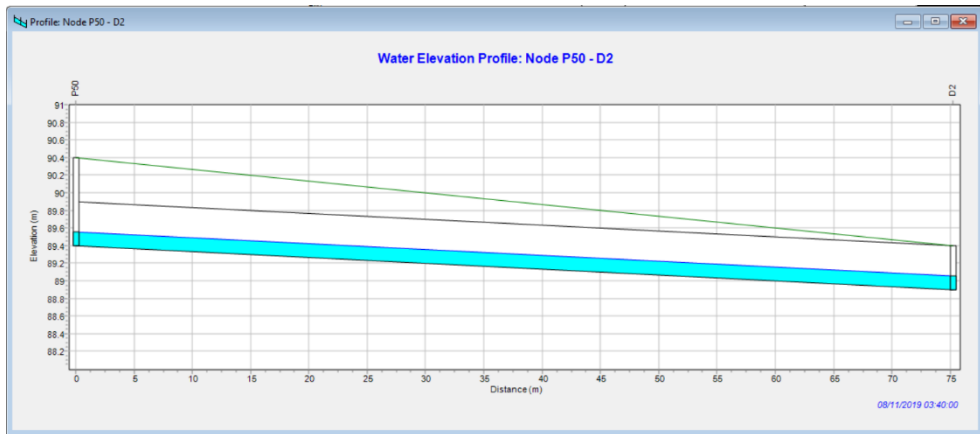
Fuente: propia

Figura 47: perfil de lámina de agua del nudo P43 al nudo P44



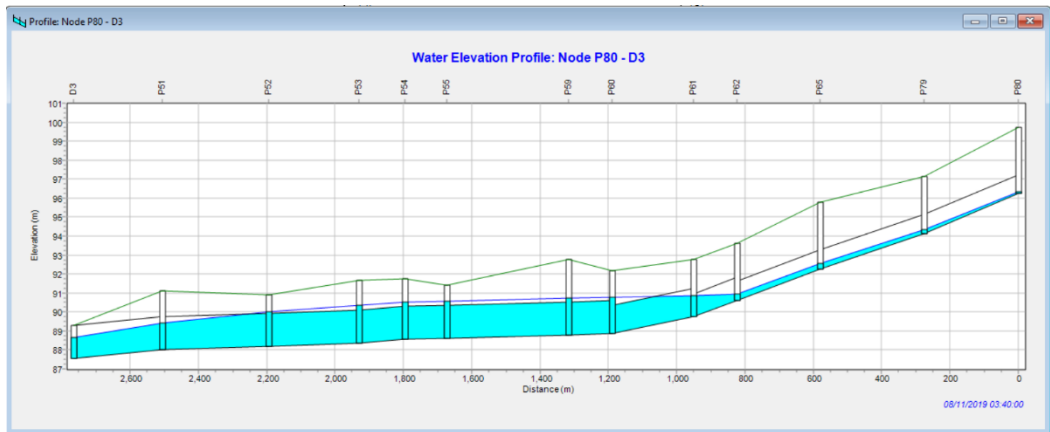
Fuente: propia

Figura 48: perfil de lámina de agua del nudo P50 a la descarga D2



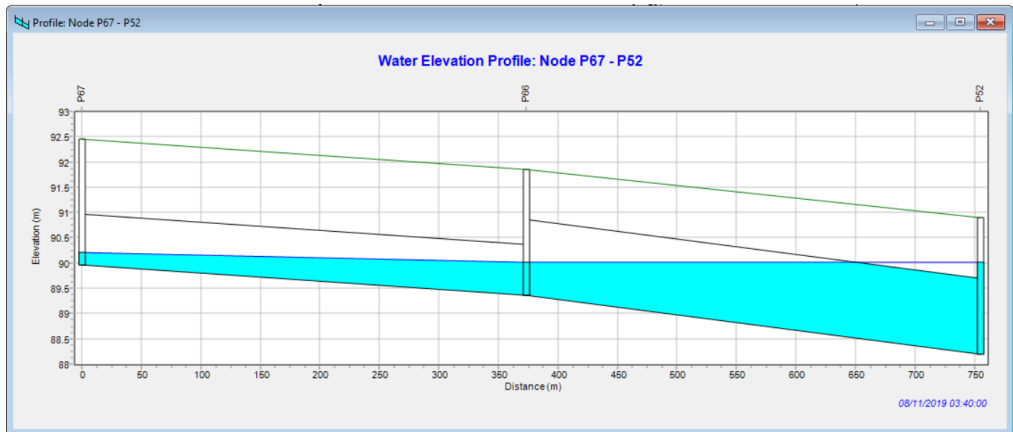
Fuente: propia

Figura 49: perfil de lámina de agua del nudo P80 a la descarga D3



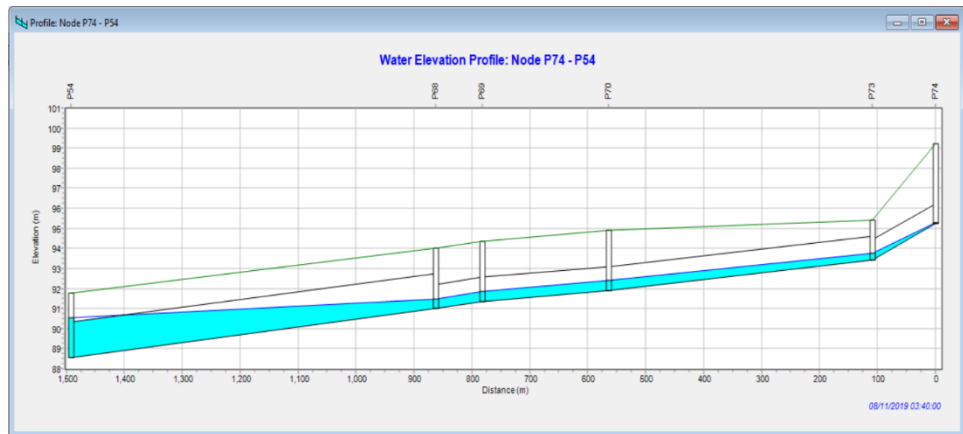
Fuente: propia

Figura 50: perfil de lámina de agua del nudo P67 al nudo P52



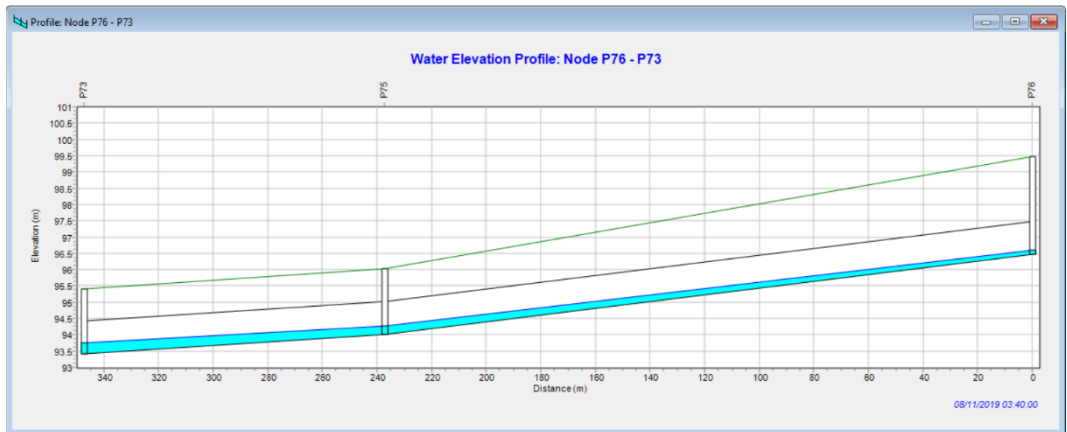
Fuente: propia

Figura 51: perfil de lámina de agua del nudo P74 al nudo P54



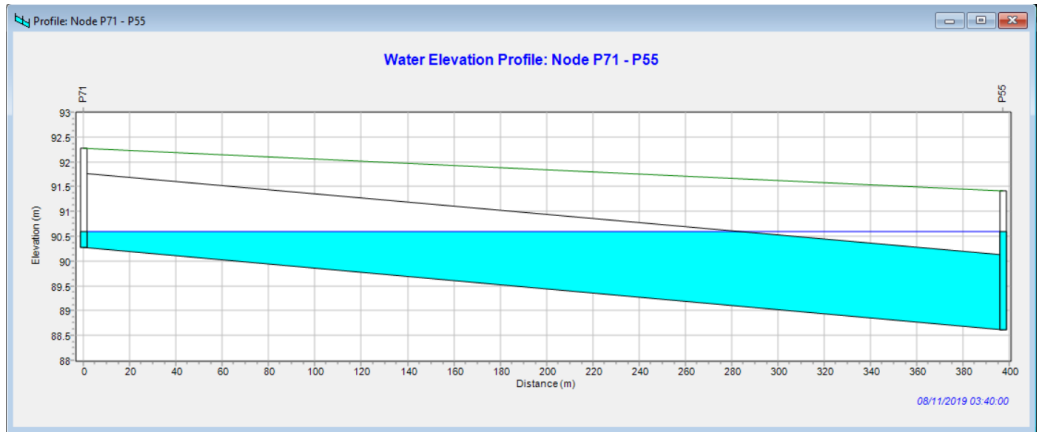
Fuente: propia

Figura 52: perfil de lámina de agua del nudo P76 al nudo P73



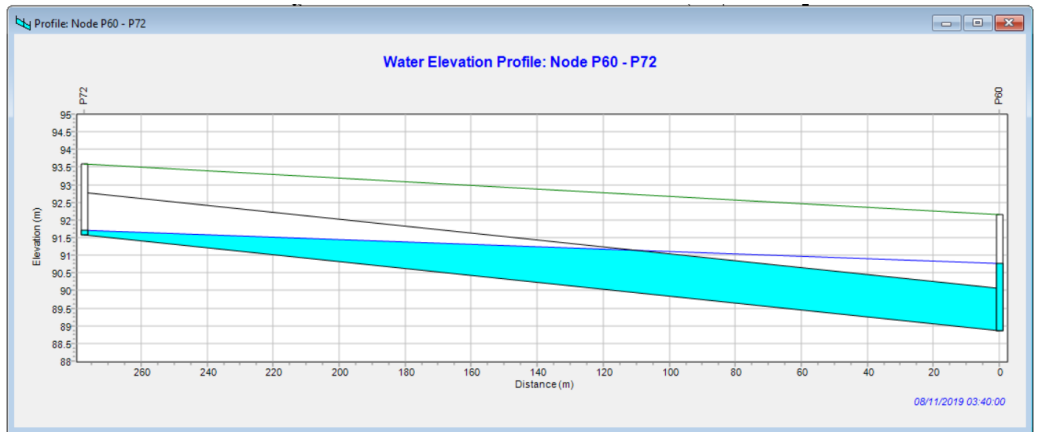
Fuente: propia

Figura 53: perfil de lámina de agua del nudo P71 al nudo P55



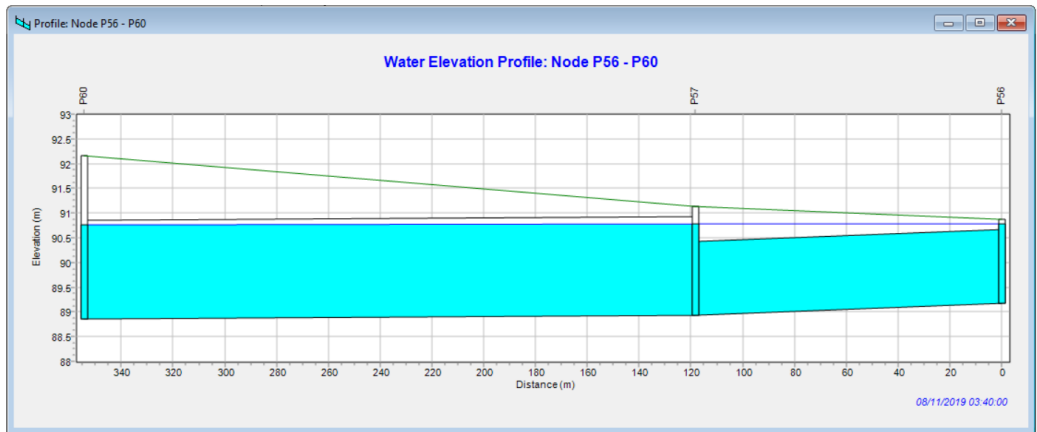
Fuente: propia

Figura 54: perfil de lámina de agua del nudo P60 al nudo P72



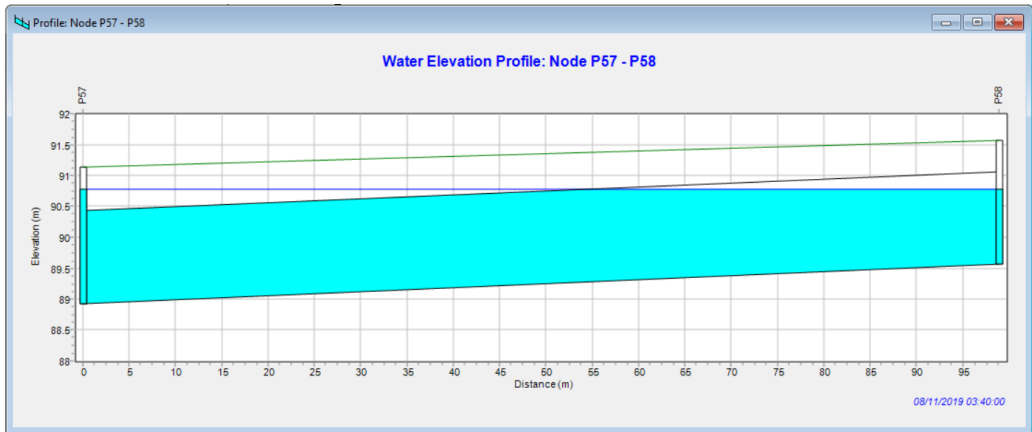
Fuente: propia

Figura 55: perfil de lámina de agua del nudo P56 al nudo P60



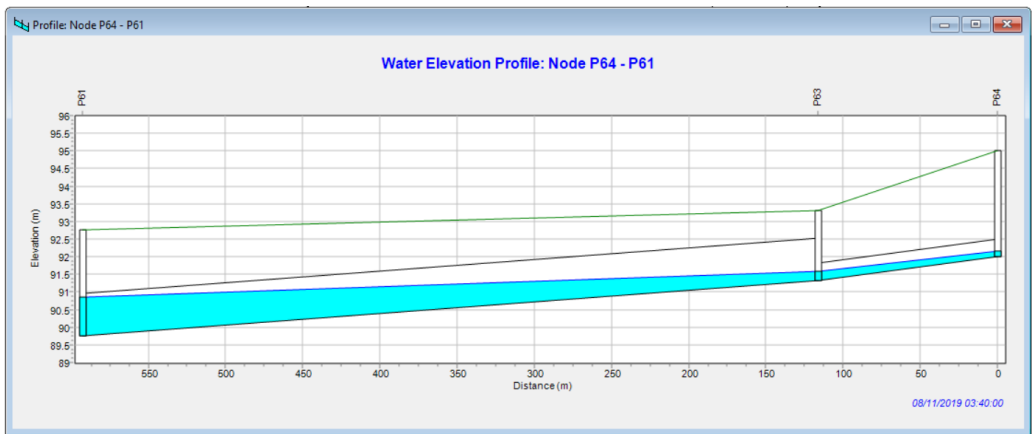
Fuente: propia

Figura 56: perfil de lámina de agua del nudo P57 al nudo P58



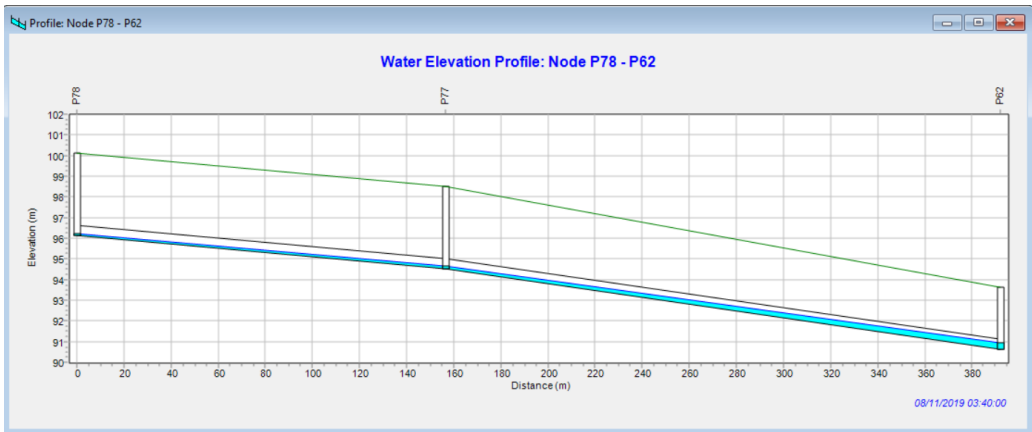
Fuente: propia

Figura 57: perfil de lámina de agua del nudo P54 al nudo P61



Fuente: propia

Figura 58: perfil de lámina de agua del nudo P78 al nudo P62



Fuente: propia

4.3.3. Análisis de resultados

Las tablas 28 y 29 comparan los resultados del análisis efectuado con el programa SWMM del alcantarillado existente y del sistema de drenaje propuesto respectivamente

Tabla 28: Comparación de resultados del análisis de escorrentía superficial

	Altura	
	Alcantarillado existente	Drenaje propuesto
Escorrentía superficial	mm	mm
Precipitación total	28.977	28.977
Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas infiltración	1.244	3.101
Escorrentía superficial	25.619	21.483
Almacenamiento final en superficie	2.476	4.502

Fuente: propia

Tabla 29: Comparación de resultados del análisis hidráulico

	Volumen	
	Alcantarillado existente	Drenaje propuesto
Cálculo hidráulico	10 ⁶ ltr	10 ⁶ ltr
Aporte tiempo seco	0.000	0.000
Aporte tiempo lluvia	200.170	151.546
Aporte aguas subterráneas	0.000	0.000
Aportes dep. lluvia	0.000	0.000
Aportes externos	10.441	0.000
Descargas externas	93.152	135.987
Pérdidas almacenamiento	84.076	0.000
Pérdidas evaporación	0.000	0.000
Pérdidas exfiltración	0.000	0.000
Volumen almacenado inicial	0.000	0.000
Volumen almacenado final	32.405	15.855

Fuente: propia

Según el análisis de escorrentía superficial el alcantarillado existente sufre mayores pérdidas por infiltración, con una pérdida de 1.244 mm frente a los 3.101 mm del drenaje propuesto.

El alcantarillado existente presenta una escorrentía superficial de 25.619 mm, mayor a los 21.483 mm del drenaje propuesto.

Se observa un menor almacenamiento final en superficie en el alcantarillado existente, de unos 2.476 mm, frente a los 4.502 mm del drenaje propuesto.

Según el cálculo hidráulico obtenido con el programa SWMM, el alcantarillado existente presenta mayor aporte de lluvia, de unos 200.17×10^6 litros, frente a los 151.546×10^6 litros del drenaje propuesto.

A diferencia del sistema de drenaje propuesto, que no presenta aportes externos, el alcantarillado existente presenta un aporte externo de 10.441×10^6 litros.

El sistema de drenaje propuesto tiene una descarga de 135.987×10^6 litros, superior a los 93.152×10^6 litros de descarga del alcantarillado existente.

El alcantarillado existente presenta pérdidas por almacenamiento de 84.076×10^6 litros, a diferencia del sistema de drenaje propuesto que no presenta pérdidas por almacenamiento.

El alcantarillado existente tiene un volumen almacenado final de 32.405×10^6 litros, más del doble del drenaje propuesto.

5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El mayor aporte por tiempo de lluvia del alcantarillado existente se debe a que el alcantarillado existente abarca áreas que han sido excluidas para el sistema de drenaje propuesto por tratarse de zonas inundables conformadas por terreno natural o zonas con drenaje natural dadas su pendiente y ubicación.

El alcantarillado existente presenta aportes externos, estos provienen de las aguas residuales que el alcantarillado transporta provenientes del consumo humano y no de la precipitación de diseño.

Del cálculo hidráulico de ambos sistemas se observa que el alcantarillado existente es el único que presenta pérdidas por almacenamiento, es decir que no es capaz de drenar toda el agua depositada por la lluvia, lo que deriva a una escorrentía superficial 4.136 mm mayor que presenta el sistema propuesto.

6. CONCLUSIONES

El sistema de alcantarillado existente en el distrito de Iquitos se encuentra en malas condiciones por falta de limpieza y el descuido de la población que suele obstruirlo, esto afecta al desempeño del sistema.

El sistema de alcantarillado existente en el distrito de Iquitos, al ser un sistema combinado, es incapaz de drenar el agua depositada por una precipitación de considerable intensidad, presentando sobrecargas y almacenamiento de agua que afecta a la población.

El sistema de drenaje pluvial que se propone en esta tesis es capaz de drenar el agua depositada por la lluvia evitando las inundaciones que se producen por un a precipitación de considerable intensidad,

Al haberse diseñado considerando el sistema actual, el drenaje propuesto es capaz de trabajar en conjunto con el alcantarillado presente en el distrito.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un replanteo del sistema de alcantarillado sanitario de la ciudad de Iquitos con el propósito de optimizar el drenaje de las aguas residuales, que a su vez permitiría una mejor conducción de las aguas pluviales para otros sectores de la ciudad.

Considerando la cantidad de contaminación que se presenta en las calles, es necesario realizar una limpieza periódica de la superficie del terreno.

Clausurar las conexiones de los sumideros de agua pluvial hacia el alcantarillado sanitario para evitar que las aguas pluviales se drenen por el mismo sistema.

Incentivar a la población para que eviten evacuar las aguas pluviales depositadas en sus viviendas hacia la red de drenaje sanitario.

Elaborar un plan de limpieza y mantenimiento del sistema de alcantarillado pluvial propuesto para asegurar el drenaje constante y sin contaminación de las aguas pluviales hacia el río Moronacocha.

Implementar un sistema de drenaje pluvial para los otros 3 distritos que abarcan la ciudad, dado que el sistema de alcantarillado combinado se ha implementado en cada uno de los distritos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio Mijares, F. J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F.: Limusa.
- Carbajal, D. (25 de Agosto de 2018). *El Comercio*. Obtenido de El comercio: <https://elcomercio.pe/peru/loreto/loreto-intensa-lluvia-inunda-calles-iqitos-fotos-noticia-550551>
- Chávez Iglesias, A. A. (2010). *Diseño del drenaje pluvial de la localidad de Pilluana provincia de Picota región San Martín*. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.
- Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. Santafé de Bogotá: Mc Graw Hill.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cuti Merma, K. A. (2018). *Drenaje pluvial urbano en la localidad de Espinar, provincia de Espinar, región Cusco*. Arequipa: Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa.
- Granda-Acha, R. (2013). *Análisis numérico de la red de drenaje pluvial de la urb. Angamos*. Piura: Universidad de Piura.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulus, J. L. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Ministerio de Transportes y comunicación. (2018). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima.
- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (8 de Junio de 2006). Norma OS.060. *El Peruano*.
- Rojas Naira, P. C., & Humpiri Pari, V. H. (2016). *Evaluación, diseño y modelamiento del sistema de drenaje pluvial de la ciudad de Juliaca con*

la aplicación del software SWMM. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

Rossman, L. A. (2015). *SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario.* Cincinnati: EPA United States Environmental Protection Agency.

Sánchez Avellaneda, J. E. (2018). *Instructivo del proceso constructivo de una red de alcantarillado pluvial.* Bogotá: Universidad distrital Francisco José de Caldas.

Villón Béjar, M. (2002). *Hidrología.* Cartago: MaxSoft.

9. ANEXOS

ANEXO 1 CÁLCULO HIDROLÓGICO

1. Precipitación máxima de diseño

1.1. Datos históricos

Para el análisis de la precipitación máxima de diseño se ha tomado los datos históricos de la estación hidrológica Punchana, localizada a 116 msnm., con latitud 3°41'24.1" y longitud 73°15'14.6" localizada en la provincia de Maynas distrito de Punchana.

La estación cuenta con datos de precipitación máxima en 24 horas de 26 años de registros.

Tabla 1: Precipitaciones máximas por mes de la estación Punchana

Año	MES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1992	7	53	28	24	94	44	32	102	68	73	50	30
1993	50	62	93	75	74	24	38	208	32	35	52	29
1994	120	36	48	152	58	45	95	30	89	42	60	48
1995	105	48	85	36	77	103	19	30	51	76	53	61
1996	108	98	82	74	105	51	24	34	44	25	67	56
1997	46	78	49	60	42	55	49	99	44	29	48	51
1998	40	37	134.4	86	56.2	20.4	28.4	27.6	47.8	60.6	42.4	55.8
1999	47.2	56	54.8	102.6	40	32.2	75.2	56.6	37	50.6	48	34.4
2000	55.2	29.2	100.2	89.2	48.2	32.8	49.2	64.4	49.2	45	14.8	53.6
2001	44.8	45.6	58.2	46.2	23	39	18.4	29.2	57.6	80.2	48.8	111
2002	52.6	32.8	46.2	80.2	100.9	35.2	74.3	27.3	42.7	35.7	152.7	78.2
2003	50.8	29.2	35.7	45.5	36.7	22.8	39.4	29.4	37.2	77.5	79.8	83.5
2004	47.9	40	53.1	42.9	92.2	60.6	46	35.1	55.8	31	52.3	57
2005	31.6	37.8	98.1	50.7	29.7	35.7	91.8	44.1	28.8	43.1	49.8	39.2
2006	47.8	28.8	46.4	34.8	76.6	19.4	48.9	26.2	33.5	44	61.1	59.7
2007	28.8	14.3	63.4	78.3	52.8	55.6	31.8	42.8	56.2	53.5	59.2	87.4
2008	78.3	68.1	108.3	29.3	39.8	62.6	23.3	46.5	77.4	74.5	90.2	47.2
2009	45	51.2	48.6	---	37.9	22.1	19.4	46.5	28.4	40.9	86.9	64.8
2010	74.4	45.9	54	17.8	41.6	29.8	18.4	28.7	29.8	39.4	62.7	17.7
2011	39.8	29.4	98.7	79.3	35.4	39.7	32.1	29.7	49.7	66.3	35.6	39.7
2012	81.9	49.8	44.6	41.8	40.4	39.4	45	31.2	42.6	44.1	40.1	16.2

2013	30.4	74.6	70.5	35.3	40.6	32	33.8	109.6	38.4	42.3	67.4	39.6
2014	32.1	---	38.7	67	---	---	---	---	---	---	---	---
2015	---	48	38.4	73	38.2	24.6	38.6	38.6	39.2	---	39.7	54.8
2016	65.6	75.4	41.4	47.6	32.8	38.2	39.6	30.7	42.6	38.2	58.3	35.4
2017	---	---	67.4	22	168.6	64	28.6	35.5	43.7	---	63.1	---

Fuente: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Con el fin de calcular la precipitación de diseño, se seleccionaron las máximas precipitaciones por año

Tabla 2: Precipitaciones máximas por año

Año	Máximo
1992	102
1993	208
1994	152
1995	105
1996	108
1997	99
1998	134.4
1999	102.6
2000	100.2
2001	111
2002	152.7
2003	83.5
2004	92.2
2005	98.1
2006	76.6
2007	87.4
2008	108.3
2009	86.9
2010	74.4
2011	98.7
2012	81.9
2013	109.6
2014	67
2015	73
2016	75.4
2017	168.6

Fuente: propia

1.2. Ajuste

Disponemos de varios modelos probabilísticos para calcular la precipitación de diseño, para seleccionar el modelo con el cual se realizará el cálculo se realiza primero una prueba de bondad de ajuste.

Tomando como ejemplo la distribución LogGumbel para el análisis de bondad de ajuste:

- 1) Calculamos delta tabular con un nivel de significación de 5% empleando la tabla de valores críticos d:

Figura 1: Valores críticos d para la prueba de Kolmogorov-Smirnov

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
40	0.19	0.21	0.25
<i>n</i> grande	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

Fuente: Aparicio, 1989, Fundamentos de hidrología de superficie, p.289

Para 26 datos el delta tabular resulta ser 0.2667 ($\Delta=0.2667$).

- 2) Se procede a ordenar los datos en orden descendente (de mayor a menor), como en este caso se está utilizando una distribución logarítmica se trabaja con el logaritmo natural de cada dato.
- 3) Obtenemos los parámetros de distribución log gumbel:

De escala (α):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}S_x}{\pi}$$

S_x : desviación estándar

De escala (μ):

$$\mu = \bar{x} - 0.5772\alpha$$

Tabla 3: parámetros de distribución log gumbel

$\alpha =$	0.2145
$\mu =$	4.5007

Fuente: propia

4) Teniendo los datos en orden se calcula $F_0(x_m)$, empleando la fórmula:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

m: número de orden del dato x_m

n= número de datos

5) Calculamos $F(x_m)$ para logGumbel (uno para cada dato) empleando la fórmula:

$$F(x_m) = e^{-e^{-\left(\frac{\ln(x)-\mu}{\alpha}\right)}}$$

6) Se calcula el delta teórico $|F_0(x_m)-F(X_m)|$ y se selecciona al delta mayor como delta teórico.

Tabla 4: cálculo de delta teórico

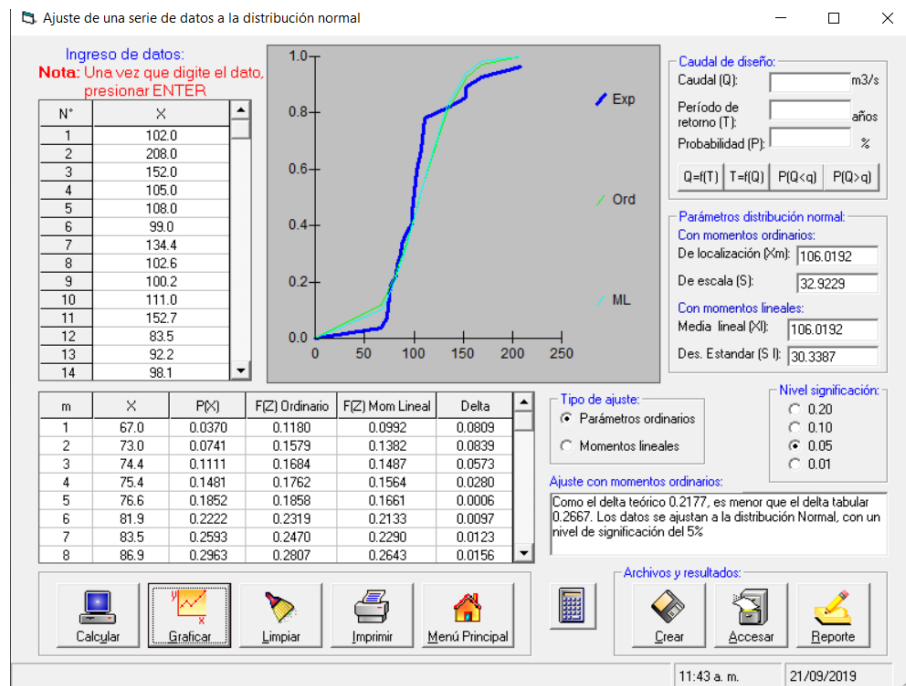
x_m	$\ln(x_m)$	$F_0(x_m)$	$F(x_m)$ LogGumbel	$ F_0(x_m)-F(x_m) $
208.00	5.34	0.9630	0.9800	0.017
168.60	5.13	0.9259	0.9476	0.022
152.70	5.03	0.8889	0.9182	0.029
152.00	5.02	0.8519	0.9165	0.065
134.40	4.90	0.8148	0.8566	0.042
111.00	4.71	0.7778	0.6854	0.092
109.60	4.70	0.7407	0.6698	0.071
108.30	4.68	0.7037	0.6546	0.049
108.00	4.68	0.6667	0.6510	0.016
105.00	4.65	0.6296	0.6130	0.017
102.60	4.63	0.5926	0.5798	0.013
102.00	4.62	0.5556	0.5711	0.016
100.20	4.61	0.5185	0.5440	0.026
99.00	4.60	0.4815	0.5252	0.044
98.70	4.59	0.4444	0.5204	0.076
98.10	4.59	0.4074	0.5107	0.103
92.20	4.52	0.3704	0.4077	0.037
87.40	4.47	0.3333	0.3162	0.017

86.90	4.46	0.2963	0.3065	0.010
83.50	4.42	0.2593	0.2406	0.019
81.90	4.41	0.2222	0.2104	0.012
76.60	4.34	0.1852	0.1189	0.066
75.40	4.32	0.1481	0.1010	0.047
74.40	4.31	0.1111	0.0872	0.024
73.00	4.29	0.0741	0.0696	0.005
67.00	4.20	0.0370	0.0188	0.018

Fuente: propia

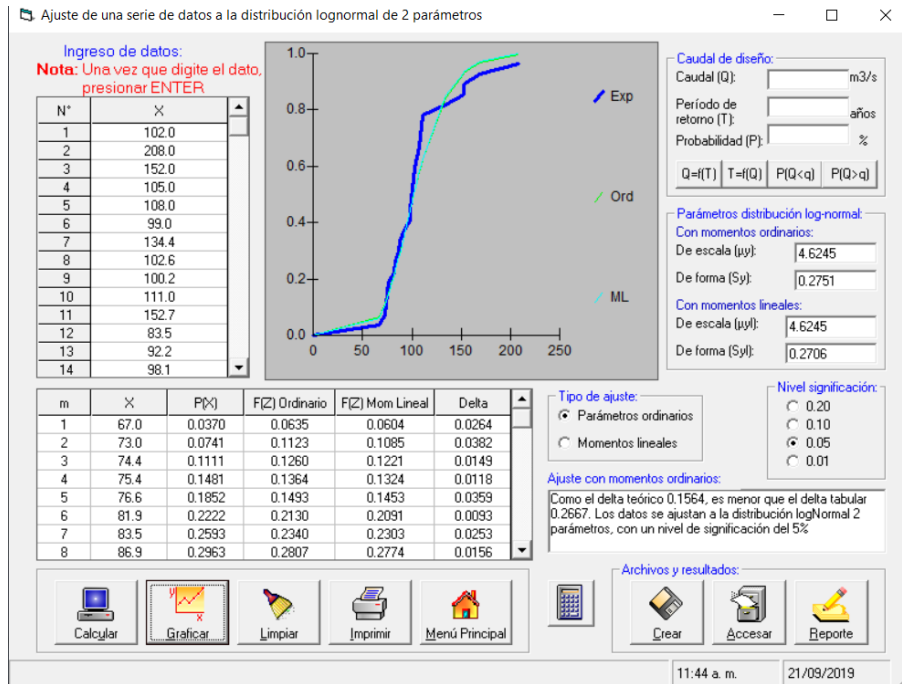
Con ayuda del software Hidroesta procedemos a realizar el cálculo de delta teórico para las demás distribuciones:

Figura 2: Cálculo de Δ teórico de la distribución normal



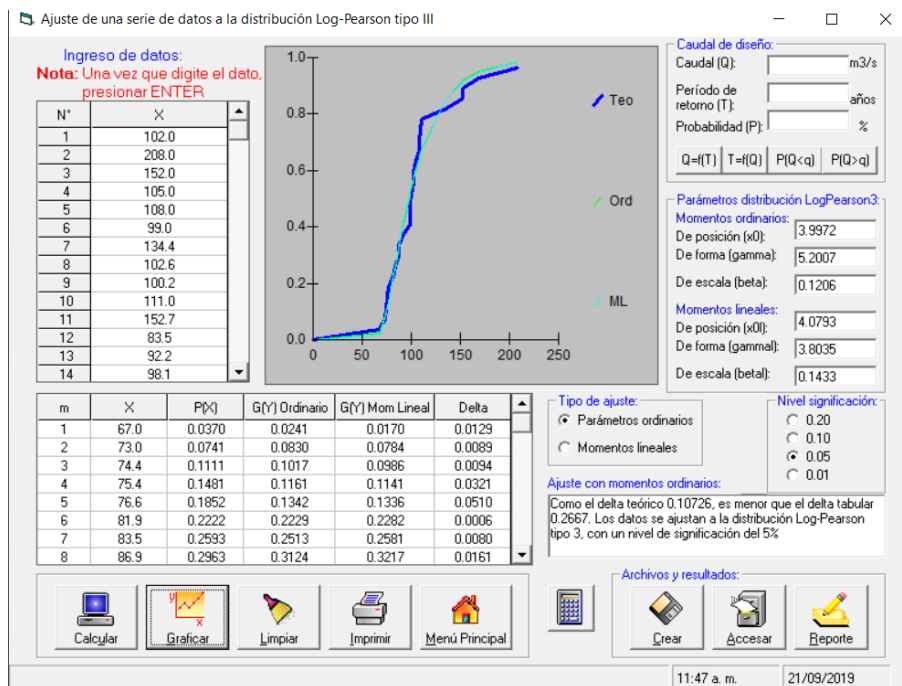
Fuente: propia

Figura 3: Cálculo de Δ teórico de la distribución lognormal



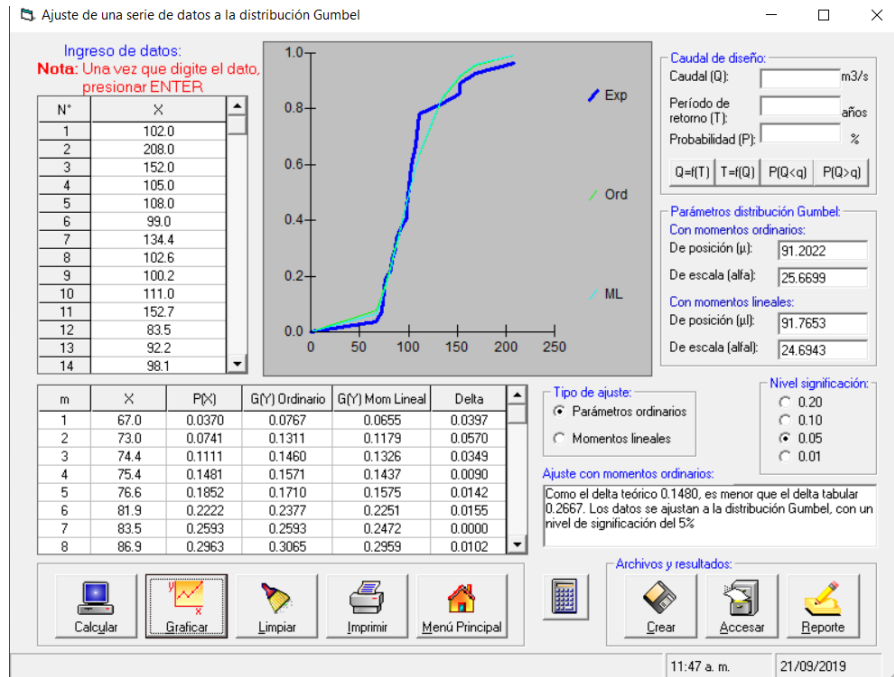
Fuente: propia

Figura 4: Cálculo de Δ teórico de la distribución logpearson tipo III



Fuente: propia

Figura 5: Cálculo de Δ teórico de la distribución Gumbel



Fuente: propia

Para el cálculo de la precipitación de diseño se escoge a la distribución que tenga el menor delta teórico.

Tabla 5: Δ teórico según la distribución

Distribución	Δ teórico
Normal	0.2177
Log normal	0.1564
Log Pearson tipo III	0.1073
Gumbel	0.1480
Log gumbel	0.1033

Fuente: propia

El menor delta teórico corresponde a la distribución de logGumbel, por lo tanto, esa es la distribución que se debe emplear para el cálculo de la precipitación de diseño.

1.3. Cálculo de la precipitación máxima de diseño

1.3.1. Distribución log gumbel

Para emplear la distribución log gumbel primero se convierte toda la serie de datos a sus logaritmos naturales y se calculan los parámetros de la media y la desviación estándar.

$$\text{Media: } \overline{\ln X} = \frac{\sum \ln X}{n}$$

$$\text{Desviación estándar: } S_{\ln X} = \sqrt{\frac{\sum (\ln X - \overline{\ln X})^2}{n-1}}$$

Tabla 6: logaritmos naturales de los datos de precipitación:

n	X	lnX
1	208.00	5.3375
2	168.60	5.1275
3	152.70	5.0285
4	152.00	5.0239
5	134.40	4.9008
6	111.00	4.7095
7	109.60	4.6968
8	108.30	4.6849
9	108.00	4.6821
10	105.00	4.6540
11	102.60	4.6308
12	102.00	4.6250
13	100.20	4.6072
14	99.00	4.5951
15	98.70	4.5921
16	98.10	4.5860
17	92.20	4.5240
18	87.40	4.4705
19	86.90	4.4648
20	83.50	4.4248
21	81.90	4.4055
22	76.60	4.3386
23	75.40	4.3228
24	74.40	4.3095
25	73.00	4.2905
26	67.00	4.2047

Fuente: propia

Con los logaritmos naturales se puede proceder a calcular la media y la desviación estándar.

Tabla 7: media y desviación estándar

Media:	4.6245
Desviación estándar:	0.2751

Fuente: propia

Utilizando los parámetros de la media y la desviación estándar es posible calcular el factor de recurrencia K_T para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Factor de recurrencia:

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ 0.5772 + \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Tabla 8: Factor de recurrencia para los distintos periodos de retorno:

T (años)	K_T
2	-0.164
5	0.719
10	1.305
25	2.044
50	2.592
100	3.137

Fuente: propia

Teniendo los factores de recurrencia para cada periodo de retorno finalmente se calcula la precipitación para cada uno de los periodos de retorno seleccionados empleando la siguiente fórmula:

$$\ln X_T = \overline{\ln X} + K_T S_{\ln X}$$

Tabla 9: precipitación para el periodo de retorno seleccionado

T (años)	K_T	$\ln X_T$	X_T
2	-0.164	4.58	97.45
5	0.719	4.82	124.26
10	1.305	4.98	145.96
25	2.044	5.19	178.88
50	2.592	5.34	208.01
100	3.137	5.49	241.61

Fuente: propia

1.4. Hidrograma de diseño

1.4.1. Curva de intensidad-duración-frecuencia

Debido a que la zona de trabajo no cuenta con una estación equipada con un pluviógrafo que registre las variaciones de las precipitaciones, se trabajará con una duración de 24 horas.

Tabla 10: intensidad de precipitación en horas

AÑO	P máx 24h	Intensidad (mm/h)	Duración (horas)						
			1	2	4	6	8	12	24
1992	102	4.25	20.82	14.72	10.41	8.50	7.36	6.01	4.25
1993	208	8.67	42.46	30.02	21.23	17.33	15.01	12.26	8.67
1994	152	6.33	31.03	21.94	15.51	12.67	10.97	8.96	6.33
1995	105	4.38	21.43	15.16	10.72	8.75	7.58	6.19	4.38
1996	108	4.50	22.05	15.59	11.02	9.00	7.79	6.36	4.50
1997	99	4.13	20.21	14.29	10.10	8.25	7.14	5.83	4.13
1998	134.4	5.60	27.43	19.40	13.72	11.20	9.70	7.92	5.60
1999	102.6	4.28	20.94	14.81	10.47	8.55	7.40	6.05	4.28
2000	100.2	4.18	20.45	14.46	10.23	8.35	7.23	5.90	4.18
2001	111	4.63	22.66	16.02	11.33	9.25	8.01	6.54	4.63
2002	152.7	6.36	31.17	22.04	15.58	12.73	11.02	9.00	6.36
2003	83.5	3.48	17.04	12.05	8.52	6.96	6.03	4.92	3.48
2004	92.2	3.84	18.82	13.31	9.41	7.68	6.65	5.43	3.84
2005	98.1	4.09	20.02	14.16	10.01	8.18	7.08	5.78	4.09
2006	76.6	3.19	15.64	11.06	7.82	6.38	5.53	4.51	3.19
2007	87.4	3.64	17.84	12.62	8.92	7.28	6.31	5.15	3.64
2008	108.3	4.51	22.11	15.63	11.05	9.03	7.82	6.38	4.51
2009	86.9	3.62	17.74	12.54	8.87	7.24	6.27	5.12	3.62
2010	74.4	3.10	15.19	10.74	7.59	6.20	5.37	4.38	3.10
2011	98.7	4.11	20.15	14.25	10.07	8.23	7.12	5.82	4.11
2012	81.9	3.41	16.72	11.82	8.36	6.83	5.91	4.83	3.41
2013	109.6	4.57	22.37	15.82	11.19	9.13	7.91	6.46	4.57
2014	67	2.79	13.68	9.67	6.84	5.58	4.84	3.95	2.79
2015	73	3.04	14.90	10.54	7.45	6.08	5.27	4.30	3.04
2016	75.4	3.14	15.39	10.88	7.70	6.28	5.44	4.44	3.14
2017	168.6	7.03	34.42	24.34	17.21	14.05	12.17	9.93	7.03

Fuente: propia

Para el cálculo de la curva IDF se emplea de igual modo la distribución log gumbel por ser la que tiene mayor ajuste, ésta se aplica en cada serie de datos correspondiente a la duración.

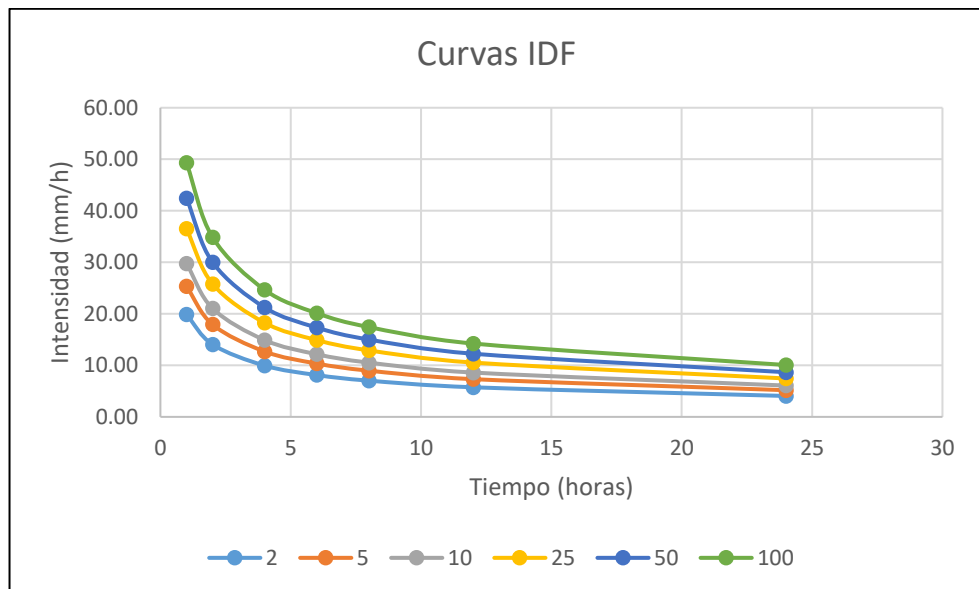
Tabla 11: intensidad de la precipitación según su periodo de retorno

T (años)	Duración (horas)						
	1	2	4	6	8	12	24
2	19.89	14.07	9.95	8.12	7.03	5.74	4.06
5	25.37	17.94	12.68	10.36	8.97	7.32	5.18
10	29.79	21.07	14.90	12.16	10.53	8.60	6.08
25	36.51	25.82	18.26	14.91	12.91	10.54	7.45
50	42.46	30.02	21.23	17.33	15.01	12.26	8.67
100	49.32	34.87	24.66	20.13	17.44	14.24	10.07

Fuente: propia

Teniendo las intensidades de las precipitaciones según su duración en horas (1, 2, 4, 6, 8, 12, 24), se puede graficar.

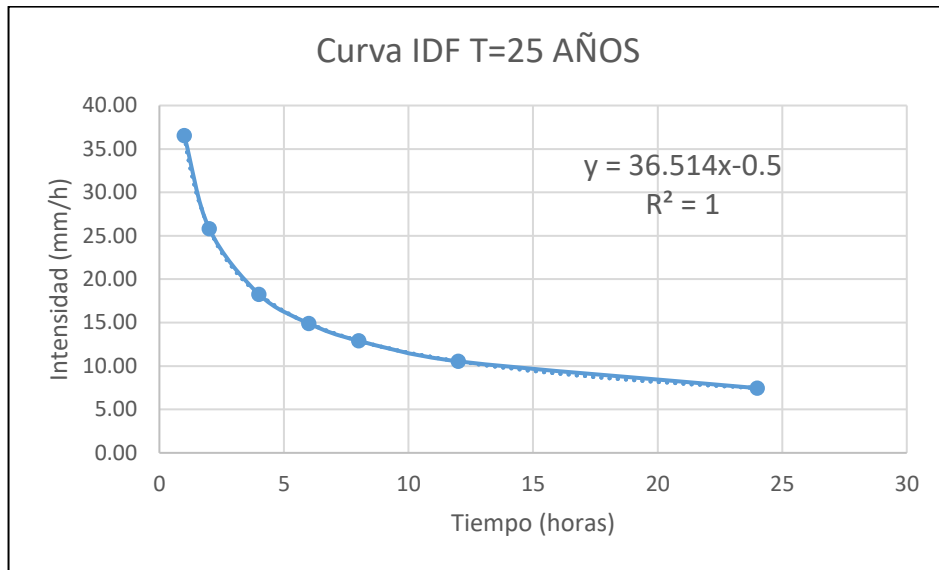
Figura 6: Curvas IDF según su periodo de retorno



Fuente: propia

Para el presente proyecto, se debe trabajar con la curva IDF con un periodo de retorno de 25 años. Para mayor facilidad en el trabajo, se calcula la ecuación de curva representativa

Figura 7: Curva IDF T=25 años



Fuente: propia

Se obtiene que la ecuación de la curva es igual a:

$$y = 36.514x^{-0.5}$$

1.4.2. Método del bloque alterno

El método del bloque alterno es una forma simple de desarrollar un Hietograma de diseño utilizando una curva IDF. El Hietograma especifica la profundidad de la precipitación que ocurre en una serie de intervalos de tiempo.

Tabla 12: Profundidad de precipitación por hora

Tiempo (horas)	I (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Δ Precipitación
1	36.51	36.51	36.51
2	25.82	51.64	15.12
3	21.08	63.24	11.61
4	18.26	73.03	9.78
5	16.33	81.65	8.62
6	14.91	89.44	7.79
7	13.80	96.61	7.17
8	12.91	103.28	6.67
9	12.17	109.54	6.26

10	11.55	115.47	5.93
11	11.01	121.10	5.64
12	10.54	126.49	5.38
13	10.13	131.65	5.16
14	9.76	136.62	4.97
15	9.43	141.42	4.80
16	9.13	146.06	4.64
17	8.86	150.55	4.50
18	8.61	154.92	4.36
19	8.38	159.16	4.25
20	8.16	163.30	4.13
21	7.97	167.33	4.03
22	7.78	171.27	3.94
23	7.61	175.11	3.85
24	7.45	178.88	3.77

Fuente: propia

En la realidad la intensidad máxima de una precipitación no ocurre al comienzo de ésta, sino que la intensidad comienza a incrementar con el tiempo. Para el hietograma resultante a partir de la curva IDF, se reordenan las profundidades para que la profundidad máxima ocurra en a la mitad de la precipitación.

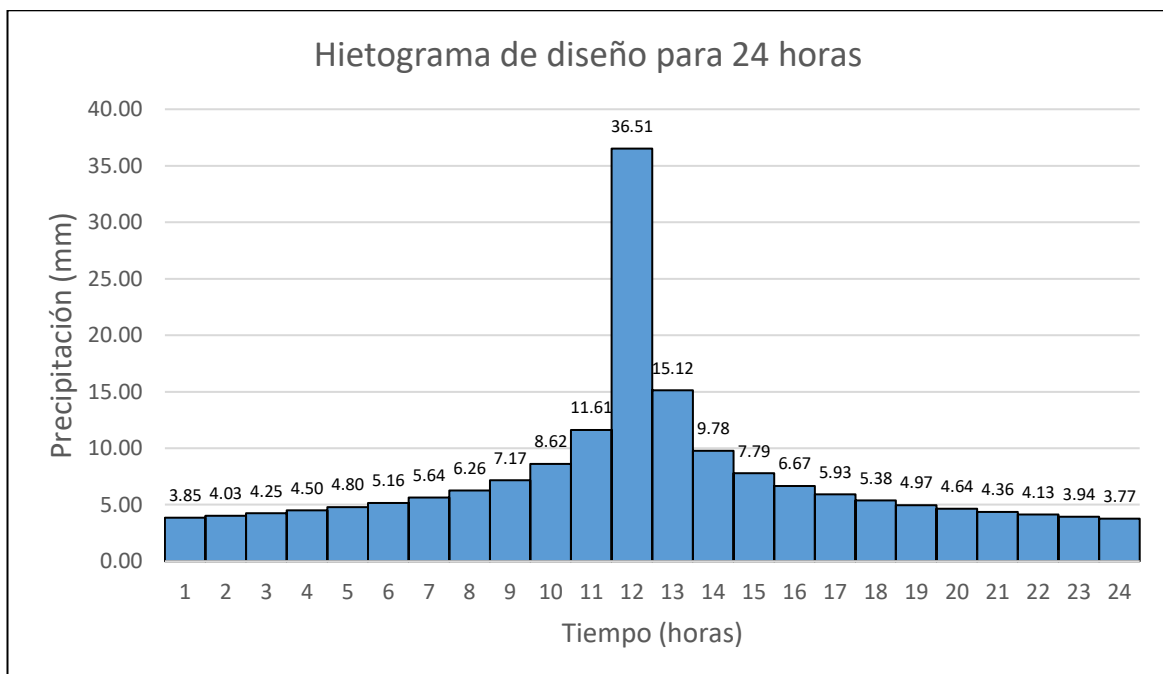
Tabla 13: serie temporal para una precipitación de 24 horas

Tiempo (horas)	Precipitación (mm)
1	3.85
2	4.03
3	4.25
4	4.50
5	4.80
6	5.16
7	5.64
8	6.26
9	7.17
10	8.62
11	11.61
12	36.51
13	15.12
14	9.78

15	7.79
16	6.67
17	5.93
18	5.38
19	4.97
20	4.64
21	4.36
22	4.13
23	3.94
24	3.77

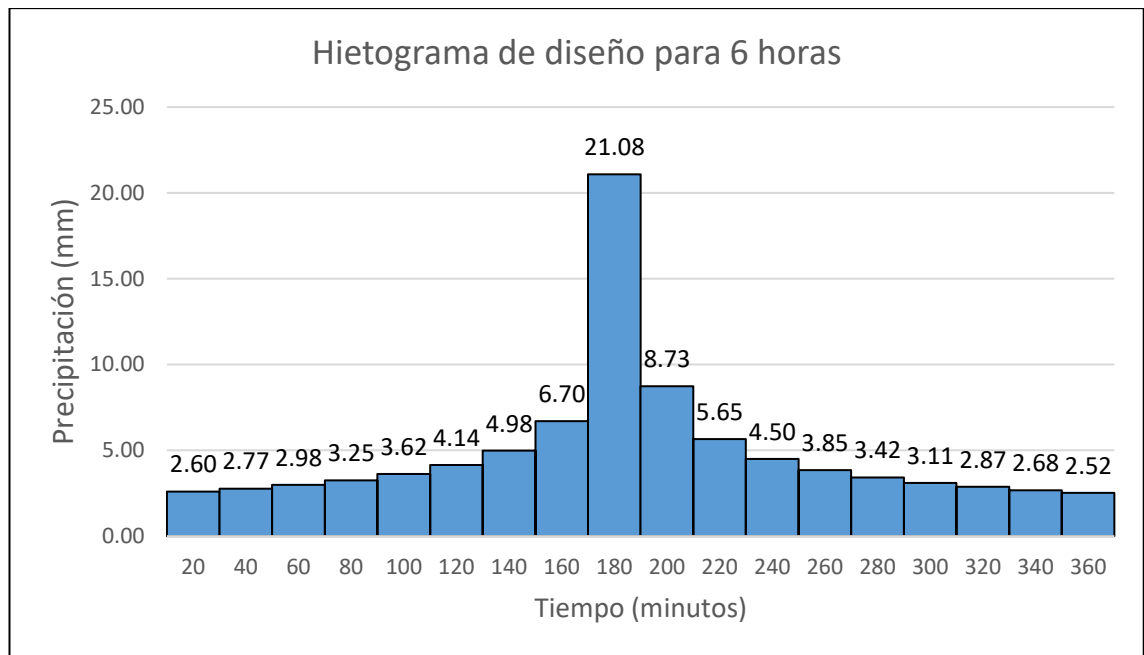
Fuente: propia

Figura 8: grafico del Hietograma de diseño para 24 horas



Fuente: propia

Figura 9: gráfico del Hietograma de diseño para una lluvia de 6 horas con intervalo de 20 minutos



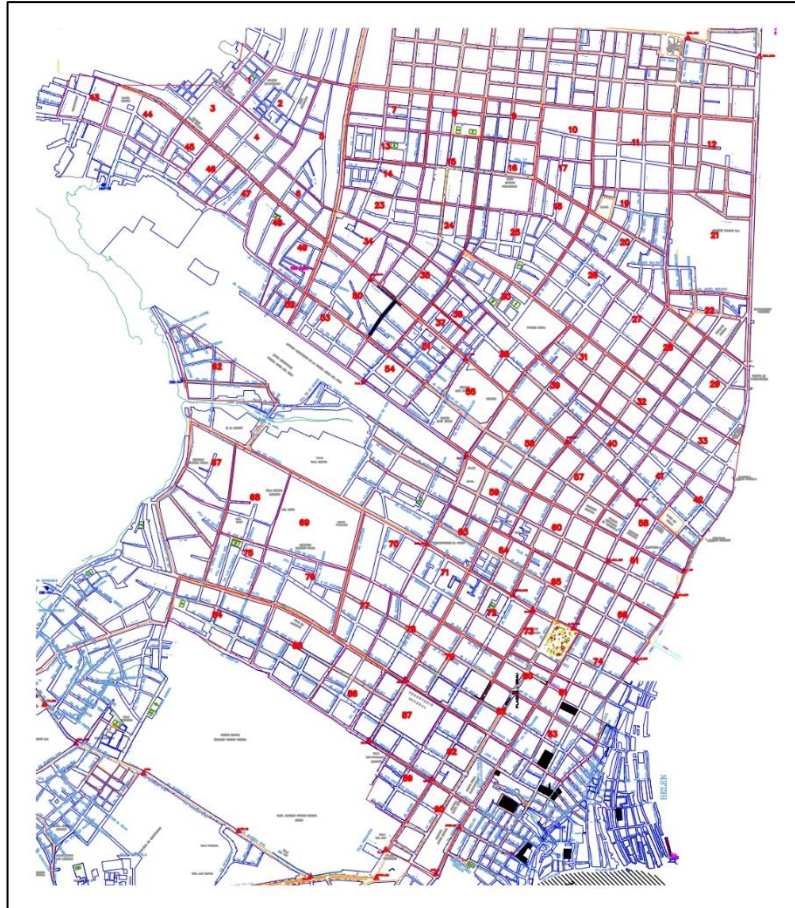
Fuente: propia

1.5. Cuenca del proyecto

1.5.1. Área de drenaje

Empleando el programa AutoCAD se delimitó la cuenca perteneciente al distrito de Iquitos, teniendo un área de 822.01 hectáreas. Esta cuenca fue dividida en diversas subcuencas para el análisis posterior y se calculó el área que abarca cada una de las subcuencas.

Figura 10: Subcuencas en el área de estudio



Fuente: propia

1.5.2. Características de las áreas tributarias

Las características de las geométricas de las áreas tributarias con las que el programa trabaja son obtenidas mediante el uso del programa AutoCAD Civil 3D, en el cual es posible fragmentar las cuencas de gran extensión para dividir las en áreas más pequeñas con las que se facilita el trabajo de análisis. Luego de esto, empleando el programa se puede extraer el valor del área de cada una de estas divisiones y analizar la pendiente empleando la superficie generada luego del levantamiento topográfico.

El ancho de las áreas se calculó empleando la fórmula sugerida por el manual de usuario del programa SWMM:

$$W = \frac{A}{L}$$

Donde:

W: ancho del área tributaria

A: área (m²)

L: largo mayor del cauce

Tabla 14: Parámetros geométricos de las áreas tributarias:

Área tributaria	Área (ha)	Cota mayor	Cota menor	L (m)	Pendiente %	Ancho (m)
C1	3.34	89.46	89.38	232.77	0.03	143.33
C2	8.35	89.44	88.60	285.84	0.29	292.11
C3	7.23	95.49	88.16	734.77	1.00	98.44
C4	7.61	90.04	89.03	286.24	0.35	265.98
C5	12.52	89.59	88.46	234.56	0.48	533.59
C6	5.16	90.49	88.69	202.30	0.89	255.09
C7	7.64	95.49	91.34	571.37	0.73	133.69
C8	5.16	95.74	91.34	465.82	0.94	110.74
C9	5.38	95.88	95.03	193.21	0.44	278.68
C10	6.82	95.65	92.89	471.90	0.58	144.43
C11	14.49	95.74	92.89	333.01	0.86	435.24
C12	14.59	96.06	94.31	786.56	0.22	185.53
C13	6.39	94.43	92.18	160.62	1.40	397.74
C14	6.04	92.18	89.45	157.11	1.74	384.50
C15	8.80	95.98	92.94	256.05	1.19	343.84
C16	9.57	96.72	91.86	247.68	1.96	386.47
C17	4.65	94.30	93.17	268.74	0.42	173.04
C18	3.91	95.28	94.27	139.05	0.73	281.03
C19	8.14	95.43	92.86	252.45	1.02	322.50
C20	8.81	95.86	93.48	402.67	0.59	218.70
C21	19.78	96.47	94.31	292.92	0.74	675.19
C22	8.24	96.39	90.21	337.08	1.83	244.38
C23	6.53	90.45	89.40	193.30	0.54	337.95
C24	7.44	91.61	88.66	284.84	1.04	261.32
C25	13.99	95.05	88.84	570.82	1.09	245.04
C26	11.74	95.23	90.43	335.70	1.43	349.71
C27	8.06	95.01	91.70	352.37	0.94	228.82
C28	8.43	95.20	90.21	356.65	1.40	236.51
C29	12.35	96.06	93.14	344.72	0.85	358.40
C30	11.22	90.29	89.66	169.36	0.37	662.25
C31	7.97	93.25	90.47	222.08	1.25	359.09
C32	7.59	95.20	94.78	228.39	0.18	332.46
C33	8.78	95.17	93.14	225.84	0.90	388.79
C34	7.17	89.40	88.79	209.16	0.29	342.91
C35	6.39	90.73	88.32	326.01	0.74	195.88
C36	3.45	90.73	89.64	291.31	0.37	118.57
C37	2.24	90.73	89.64	291.31	0.37	76.78

C38	7.90	91.31	89.60	346.54	0.49	227.98
C39	8.92	91.06	90.53	387.19	0.14	230.40
C40	8.20	95.36	91.43	371.06	1.06	221.05
C41	6.53	98.78	94.08	234.76	2.00	278.06
C42	6.88	98.57	94.32	313.40	1.36	219.37
C43	4.96	89.55	87.36	217.90	1.01	227.53
C44	7.35	89.87	89.12	339.51	0.22	216.45
C45	2.95	89.12	88.48	154.38	0.41	191.01
C46	4.28	88.48	87.95	282.53	0.19	151.53
C47	4.12	88.86	88.72	206.00	0.07	200.04
C48	5.17	90.31	89.14	361.96	0.32	142.74
C49	5.38	89.87	89.09	161.15	0.48	334.06
C50	13.06	89.87	88.79	255.25	0.42	511.77
C51	5.18	90.43	88.57	223.11	0.83	232.27
C52	3.35	90.73	90.67	183.27	0.03	182.89
C53	6.55	90.23	89.87	182.05	0.20	360.02
C54	5.87	89.59	88.52	170.91	0.63	343.67
C55	13.48	91.55	90.29	488.81	0.26	275.69
C56	11.89	91.43	90.39	340.47	0.31	349.20
C57	8.64	96.17	90.73	342.89	1.59	251.85
C58	7.95	98.96	95.56	191.74	1.77	414.48
C59	8.56	91.43	90.87	244.53	0.23	349.86
C60	8.64	93.15	91.26	355.55	0.53	243.07
C61	12.09	99.07	93.14	496.56	1.19	243.48
C62	9.23	90.70	89.70	90.92	1.10	1015.36
C63	5.36	91.13	90.87	103.70	0.25	517.01
C64	5.67	92.29	91.60	238.87	0.29	237.19
C65	8.72	94.80	92.45	344.39	0.68	253.31
C66	8.74	98.96	94.80	351.73	1.18	248.49
C67	7.85	92.00	91.76	264.56	0.09	296.63
C68	10.56	92.12	90.98	232.58	0.49	453.82
C69	13.81	93.00	91.85	416.19	0.28	331.79
C70	8.97	92.77	91.42	290.31	0.47	308.97
C71	6.64	93.59	92.25	275.30	0.49	241.33
C72	10.21	96.45	93.14	360.64	0.92	283.21
C73	5.67	98.53	96.45	236.78	0.88	239.27
C74	6.86	99.50	97.26	286.76	0.78	239.37
C75	6.04	92.46	91.83	247.38	0.25	244.27
C76	11.91	93.50	92.11	441.26	0.32	269.80
C77	7.26	94.36	92.77	333.63	0.48	217.51
C78	8.32	94.92	93.59	345.53	0.38	240.84
C79	12.40	100.08	97.21	349.04	0.82	355.40
C80	4.07	100.47	98.96	244.09	0.62	166.57
C81	5.98	100.85	97.10	274.05	1.37	218.12
C82	5.70	100.93	100.65	232.72	0.12	245.04

C83	8.44	105.84	99.05	332.32	2.04	254.11
C84	12.25	93.19	92.46	257.90	0.28	475.16
C85	11.97	95.38	93.30	370.15	0.56	323.33
C86	7.78	95.74	94.79	332.44	0.29	234.07
C87	11.55	99.61	95.07	330.03	1.38	349.84
C88	12.13	100.27	95.76	356.10	1.27	340.55
C89	5.67	100.24	99.25	233.29	0.42	243.02
C90	9.66	103.07	100.27	385.62	0.73	250.55

Fuente: propia

ANEXO 2

ESTUDIO DE SUELOS

Para determinar la clasificación del suelo que el distrito de Iquitos tiene en sus zonas permeables, se extrajo información del estudio de suelos realizado para el proyecto “Mejoramiento de la calle Teniente Pinglo (Jr Yavari/Ca. Arequipa) – Distrito de Iquitos, provincia de Maynas – Loreto”

En el presente estudio de suelos se realizaron los siguientes ensayos:

ENSAYOS ESTANDAR

- ❖ Análisis Granulométrico por tamizado (ASTM C – 136 – AASHTO T88 – 70).
- ❖ Constantes Físicas.
 - Limite Líquido (ASTMD – 4318 – AASTHO T89 – 68).
 - Limite Plástico (ASTMD – 4318 – AASHTO T90 – 70).
- ❖ Humedad Natural (ASTMD – 2216).

ENSAYOS ESPECIALES

- ❖ Ensayo de Proctor Modificado (ASTMD – 1557 – AASHTO T – 180).
- ❖ Ensayo de C.B.R. (ASTMD – 1883 – AASHTO T – 193).

Se incluyen las tablas 15 a la 21, en donde se realizan los análisis granulométricos de las muestras extraídas

Tabla 15: Análisis granulométrico de la muestra N° 01 (PG -1 - 1)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						
2 1/2"	63.500						L. Líquido : 18.80%
2"	50.600						L. Plástico : 15.58%
1 1/2"	38.100						Ind. Plástico : 3.22%
1"	25.400						Clas. SUCS : SM-SC
							A-2-
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : 6(3)
1/2"	12.700						% de Grava : -----
3/8"	9.525						% Mat. Fino : 100.00%

No4	4.760						Mód. de Fineza : 0.58%
8	2.380						% de Abrasión : -----
10	2.000						OBSERVACIONES :
16	1.190				100.00		Capa de Suelo Areno -
20	0.840	2.85	0.57	0.57	99.43		Limoso con algo de Arcilla,
30	0.590	4.10	0.82	1.39	98.61		compacta, color Amarillo
40	0.420	12.90	2.58	3.97	96.03		Oscuro (Material de Relleno,
50	0.297	38.65	7.73	11.70	88.30		con presencia de cascotes,
80	0.177	74.50	14.90	26.60	73.40		Fragmentos de Ladrillo,
100	0.149	89.90	17.98	44.58	55.42		Etc).
200	0.074	118.90	23.78	68.36	31.64		
pasa		158.20	31.64				WN% = 14.28%

Tabla 16: Análisis granulométrico de la muestra N° 02 (PG -1 - 2)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 16.08%
2 1/2"	63.500						L. Plástico : N.P
2"	50.600						Ind. Plástico : N.P
1 1/2"	38.100						Clas. SUCS : SM
1"	25.400						A-2-
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : 4(0)
1/2"	12.700						% de Grava : -----
3/8"	9.525						% Mat. Fino : 100.00%
No4	4.760						Mód. de Fineza : 1.18%
8	2.380						% de Abrasión : -----
10	2.000				100.00		OBSERVACIONES :
16	1.190	23.90	4.78	4.78	95.22		Estrato de Arena - Limosa,
20	0.840	28.75	5.75	10.53	89.43		no plástico, semi -
30	0.590	36.41	7.28	17.81	82.19		compacta, color Marrón
40	0.420	38.06	7.61	25.42	74.58		Oscuro, Ligeramente color
50	0.297	40.40	8.08	33.50	66.50		Café.
80	0.177	65.77	13.15	46.65	53.35		
100	0.149	74.65	14.93	61.58	38.42		
200	0.074	91.13	18.23	79.81	20.19		
pasa		100.93	20.19				WN% = 13.74%

Tabla 17: Análisis granulométrico de la muestra N° 01 (PG -2 - 1)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 62.54%
2 1/2"	63.500						L. Plástico : 34.62%
2"	50.600						Ind. Plástico : 27.92%
1 1/2"	38.100						Clas. SUCS : CH
1"	25.400						A-7-
3/4"	19.050						Clas. AASHTO : 6(18)
1/2"	12.700						% de Grava : -----
3/8"	9.525						% Mat. Fino : 100.00%
No4	4.760						Mód. de Fineza : 0.14%
8	2.380						% de Abrasión : -----
10	2.000						OBSERVACIONES :
16	1.190						Suelo Arcilloso Inorgánico
20	0.840			-----	100.00		de mediana a alta
30	0.590	1.90	0.38	0.38	99.62		plasticidad, algo saturado de
40	0.420	4.55	0.91	1.29	98.71		

50	0.297	9.10	1.82	3.11	96.89		humedad, semi-compacta, color Naranja-Rojizo.
80	0.177	12.80	2.56	5.67	94.33		
100	0.149	22.95	4.59	10.26	89.74		
200	0.074	30.00	6.00	16.26	83.74		
pasa		418.70	83.74	-----			

WN% = 42.16%

Tabla 18: Análisis granulométrico de la muestra N° 02 (PG -2 - 2)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 62.75% L. Plástico : 33.89% Ind. Plástico : 28.86% Clas. SUCS : CH A-7- Clas. AASHTO : 6(18) % de Grava : ----- % Mat. Fino : 100.00% Mód. de Fineza : 0.10% % de Abrasión : ----- OBSERVACIONES : Sedimentos pre-consolidados de tipo Arcilloso Inorgánico de alta plasticidad, color Beige moteado con puntos de color Blanquesino y Rojizo.
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
No4	4.760						
8	2.380						
10	2.000						
16	1.190						
20	0.840						
30	0.590			-----	100.00		
40	0.420	3.95	0.79	0.79	99.21		
50	0.297	9.60	1.92	2.71	97.29		
80	0.177	10.70	2.14	4.85	95.15		
100	0.149	11.50	2.30	7.15	92.85		
200	0.074	26.15	5.23	12.38	87.62		
pasa		438.10	87.62	-----	-----		

WN% = 34.60%

Tabla 19: Análisis granulométrico de la muestra N° 01 (PG -3 - 1)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 63.50% L. Plástico : 33.84% Ind. Plástico : 29.66% Clas. SUCS : CH A-7- Clas. AASHTO : 6(18) % de Grava : ----- % Mat. Fino : 100.00% Mód. de Fineza : 0.09% % de Abrasión : ----- OBSERVACIONES : Capa de Arcilla inorgánica de alta plasticidad, semi-compacta, color Naranja intenso y Textura Uniforme.
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
No4	4.760						
8	2.380						
10	2.000						
16	1.190						
20	0.840						
30	0.590			-----	100.00		
40	0.420	2.20	0.44	0.44	99.56		
50	0.297	6.65	1.33	1.77	98.23		
80	0.177	9.90	1.98	3.75	96.25		
100	0.149	16.20	3.24	6.99	93.01		
200	0.074	26.05	5.21	12.20	87.80		
pasa		439.00	87.80	-----	-----		

WN% = 31.02%

Tabla 20: Análisis granulométrico de la muestra N° 01 (PG -4 - 1)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 43.45% L. Plástico : 23.99% Ind. Plástico : 19.46% Clas. SUCS : CL A-7- Clas. AASHTO : 5(09) % de Grava : ---- % Mat. Fino : 100.00% Mód. de Fineza : 0.36% % de Abrasión : ---- OBSERVACIONES : Estrato de Arcilla inorgánica de mediana plasticidad, semi - compacta, color Naranja y Textura Uniforme. WN% = 29.70%
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
No4	4.760						
8	2.380						
10	2.000						
16	1.190			-----	100.00		
20	0.840	2.85	0.57	0.57	99.43		
30	0.590	9.10	1.82	2.39	97.61		
40	0.420	18.85	3.77	6.16	93.84		
50	0.297	21.50	4.30	10.46	89.54		
80	0.177	26.70	5.34	15.80	84.20		
100	0.149	38.25	7.65	23.45	76.55		
200	0.074	50.00	10.00	33.45	66.55		
pasa		332.75	66.55				

Tabla 21: Análisis granulométrico de la muestra N° 02 (PG -4 - 2)

Tamices	Abertura	Peso	%Retenido	%Retenido	% que	ESPECIF.	Indice de Consistencia
ASTM	en mm.	Retenido	Parcial	Acumulado	Pasa		
3"	76.200						L. Líquido : 39.90% L. Plástico : 22.28% Ind. Plástico : 17.62% Clas. SUCS : OH A- Clas. AASHTO : 8(15) % de Grava : ---- % Mat. Fino : 100.00% Mód. de Fineza : 0.26% % de Abrasión : ---- OBSERVACIONES : Capa de Arcilla Orgánica de mediana a alta plasticidad, con presencia de restos orgánicos (tallos, fragmentos de madera, soguilla, Etc.) color Negro Saturado apartir de 2.00 mts. WN% = 32.64%
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
No4	4.760						
8	2.380						
10	2.000						
16	1.190						
20	0.840			—	100.00		
30	0.590	4.05	0.81	0.81	99.19		
40	0.420	11.45	3.10	3.10	96.90		
50	0.297	18.70	6.84	6.84	93.16		
80	0.177	26.91	12.22	12.22	87.78		
100	0.149	32.60	18.74	18.74	81.26		
200	0.074	43.39	27.42	27.42	72.58		
pasa		362.90	—	—	—		

En base a estos estudios, para los datos de infiltración en la simulación se introducirán los datos correspondientes a una arcilla arenosa correspondientes a la tabla 22:

Tabla 22: Características del suelo

Textura del suelo	K (mm/h)	ψ (mm)	Φ	FC	WP
Arena	120.40	49.00	0.437	0.062	0.024
Arena margosa	29.79	61.00	0.437	0.105	0.047
Marga arenosa	10.92	110.00	0.453	0.190	0.085
Marga arenosa	3.30	89.00	0.463	0.232	0.116
Sedimentos de marga	6.60	170.00	0.501	0.284	0.135
Marga areno-arcillosa	1.52	220.00	0.398	0.244	0.136
Marga arcillosa	1.02	210.00	0.464	0.310	0.187
Sedimentos de marga arcillosa	1.02	270.00	0.471	0.342	0.210
Arcilla arenosa	0.51	240.00	0.430	0.321	0.221
Sedimentos de arcilla	0.51	290.00	0.479	0.371	0.251
Arcilla arenosa	0.25	320.00	0.475	0.378	0.265

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE

ANEXO 3

PROCEDIMIENTO DE MODELAMIENTO EN EL PROGRAMA SWMM

En este anexo se detalla el procedimiento que se debe seguir para realizar la simulación con el programa SWMM del sistema de drenaje pluvial que se propone.

2.1. Configuración del proyecto

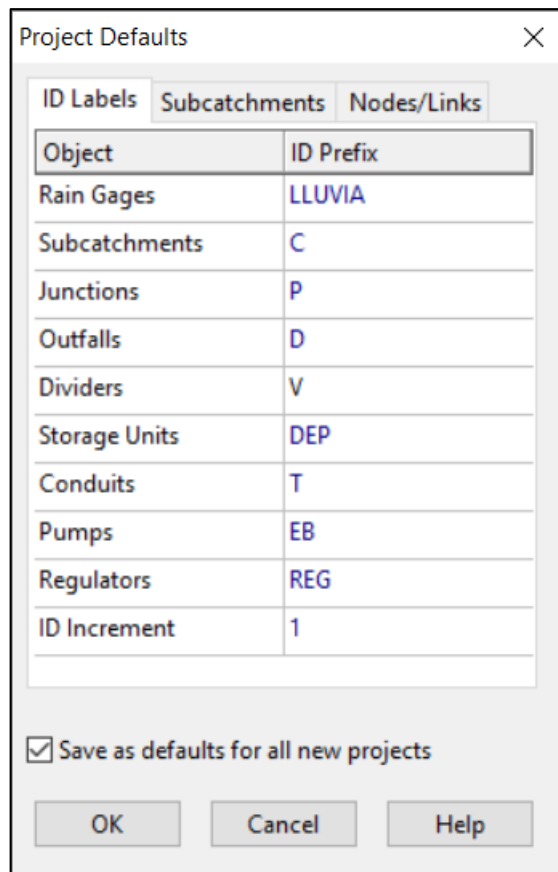
El primer paso consiste en crear un nuevo proyecto SWMM y definir las opciones por defecto. Las opciones por defecto pueden simplificar las posteriores tareas de introducción de datos.

- 1) Abrir el programa EPA SWMM y seleccionar **File-New** en la barra de menú principal para crear un nuevo proyecto.
- 2) Seleccionar la opción **Project-Defaults...** para abrir el formulario de opciones por defecto del proyecto.

La ventana de valores por defecto tiene tres pestañas, la primera pestaña **ID labels** corresponde a los prefijos deseados para cada objeto, es decir que SWMM etiquetará automáticamente a todos los objetos nuevos con números consecutivos después del prefijo correspondiente especificado. Estos sufijos pueden fijarse conforme uno prefiera.

Para el proyecto se definieron las siguientes etiquetas por defecto:

Figura 11: Etiquetas por defecto.

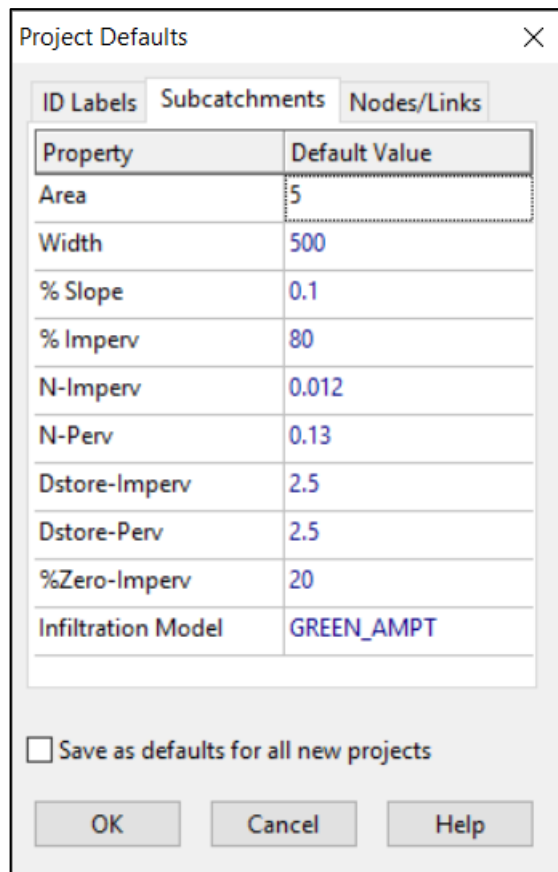


Fuente: propia

La segunda pestaña **Subcatchments** corresponde a las características de las áreas tributarias. Cada nueva área que se dibuje en el proyecto tendrá asignados los valores que previamente se introduzcan en esta ventana. Cuando se tienen áreas similares, el tener sus características previamente asignadas puede significar un considerable ahorro de tiempo. En el proyecto, sin embargo, las áreas tienen características variables, por lo que serán modificados posteriormente.

Para el proyecto se definieron los siguientes valores por defecto para las áreas tributarias:

Figura 12: Áreas por defecto

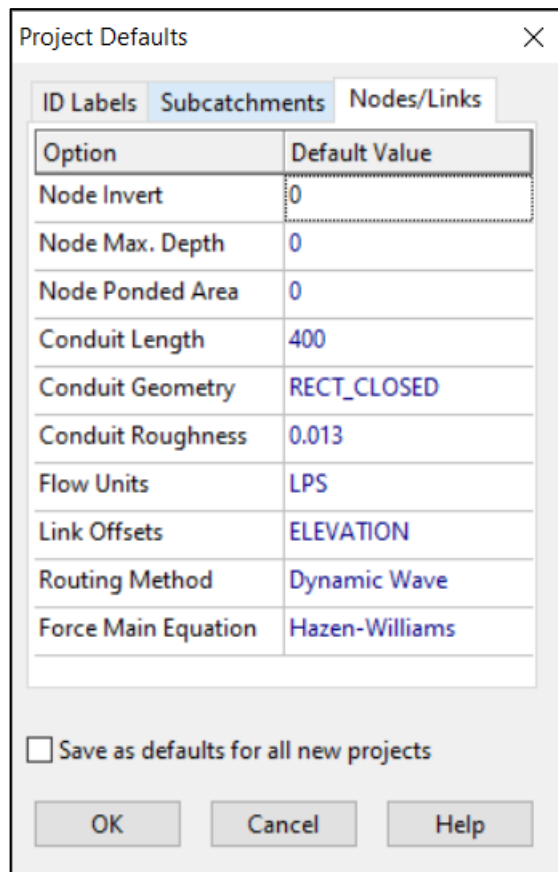


Fuente: propia

La tercera pestaña **Nodes/Links** corresponde a las características de los nudos (uniones) y los conductos. Al igual que la pestaña anterior se pueden introducir valores por defecto correspondientes a los nudos (uniones) y conductos.

En esta pestaña también se seleccionan las unidades en que el programa trabajará, en la opción **Flow Units** según la opción elegida el programa trabajará en unidades del sistema internacional o en unidades inglesas, para el proyecto se seleccionó **LPS** (litros por segundo) de manera que se establece el sistema internacional de unidades.

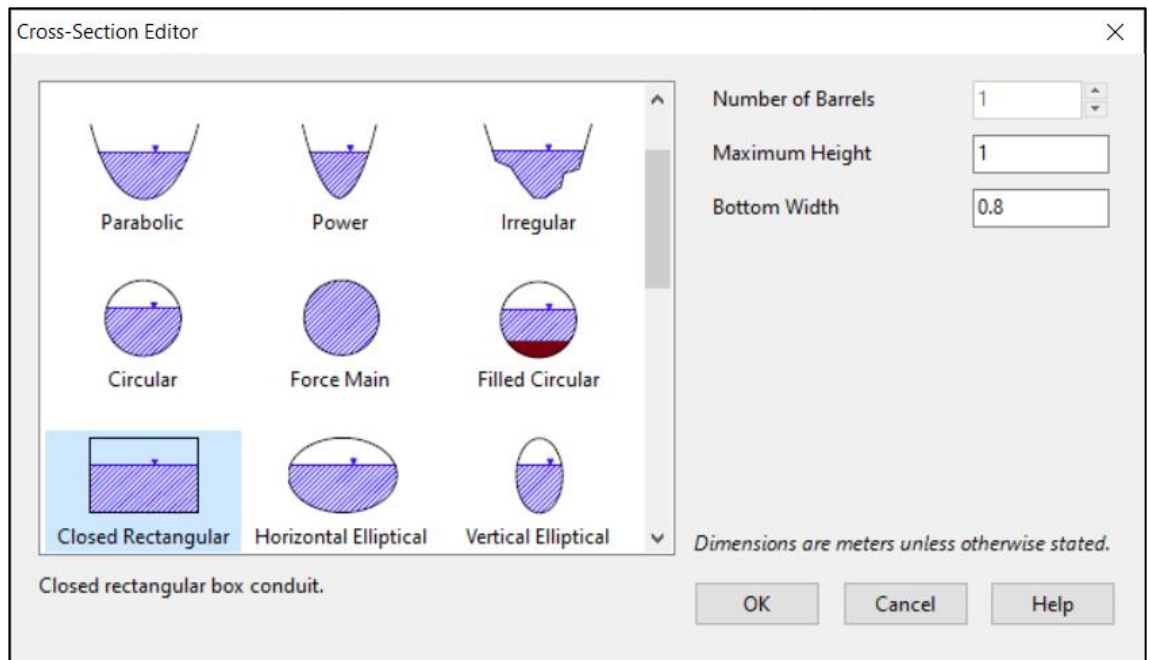
Figura 13: Nudos y conductos por defecto



Fuente: propia

En la opción **Conduit Geometry** se puede definir la sección transversal por defecto que tendrá cada nuevo conducto. El tipo de conducto escogido para el proyecto es de sección rectangular cerrada (**Closed Rectangular**), tanto la altura máxima (**Maximum Height**) como en ancho de la base (**Bottom Width**) pueden ser modificados posteriormente, por lo que se establecieron los siguientes valores:

Figura 14: Edición de sección transversal

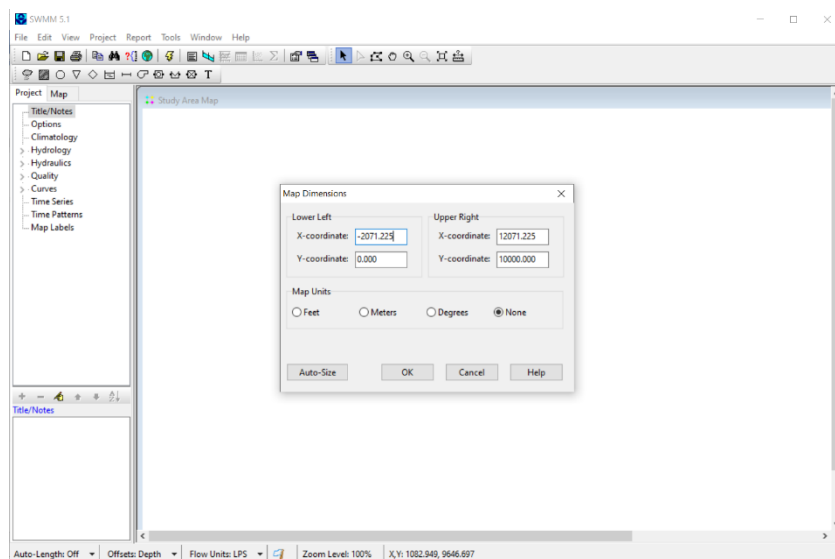


Fuente: propia

Con el botón **Save as defaults for all new projects** se pueden guardar las características definidas para que se implementen en un nuevo proyecto.

- 3) Configurar las dimensiones del proyecto, ir a la opción **View-Dimensions...** para definir las unidades del mapa.

Figura 15: unidades del mapa



Fuente: propia

En los botones de **Map Units** elegir el botón **None**, y luego para aceptar, darle al botón **OK**.

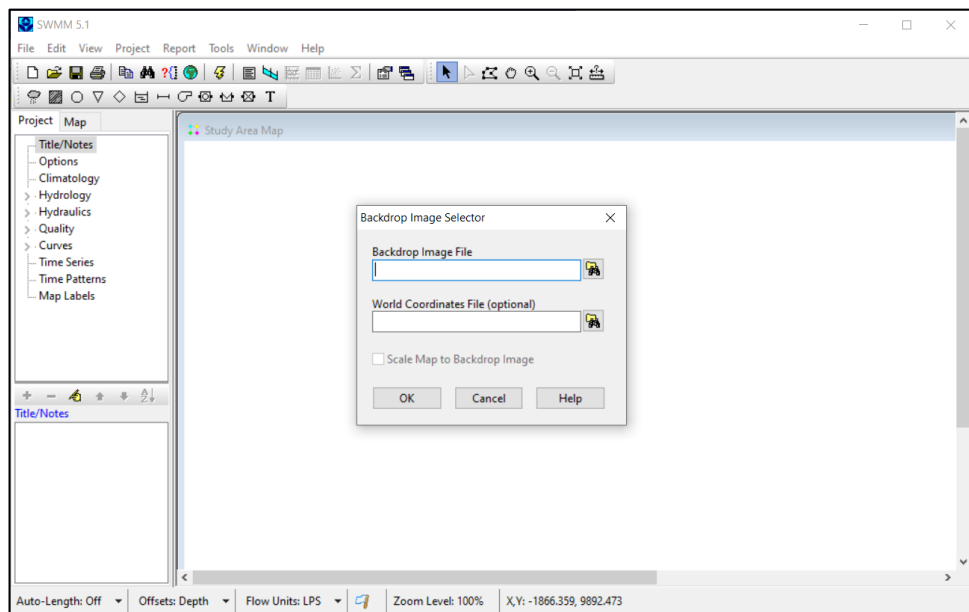
2.2. Importación de fondo

Antes empezar a dibujar los objetos, es recomendable cargar un fondo que sirva como guía para el dibujo. Para ello se emplea el programa AutoCAD, con el cual se puede delimitar y numerar las áreas que conforman la zona de estudio.

Extrayendo los polígonos a un archivo JPG puede importarse directamente al SWMM.

- 1) Para cargar un fondo al proyecto, primero ir a la opción **view-backdrop-load**

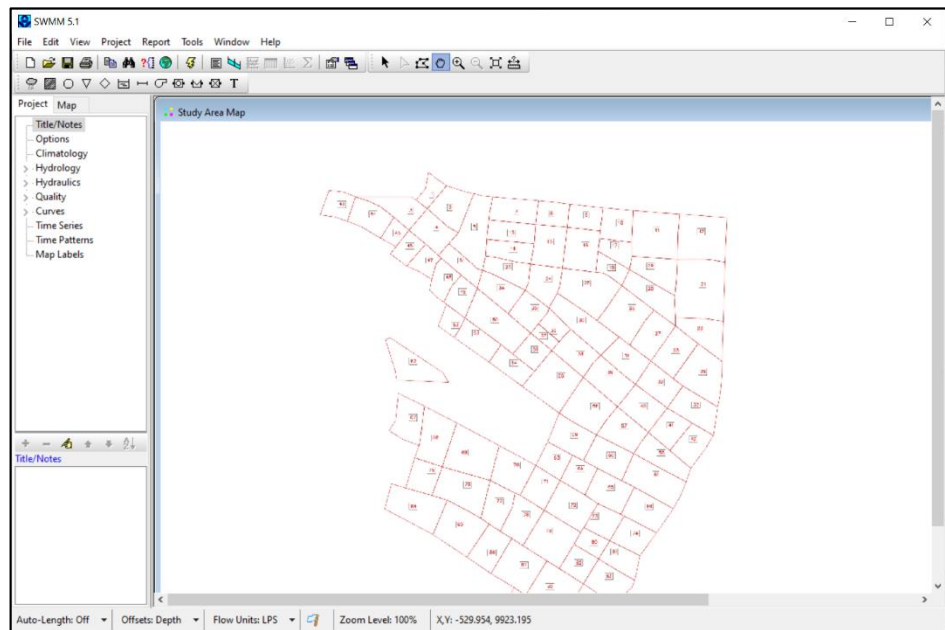
Figura 16: ventana de selección de imagen



Fuente: propia

- 2) En **Backdrop Image File** elegir la ubicación de la imagen que se desea cargar al programa.
- 3) Darle al botón **OK** para cargar la imagen seleccionada al fondo.



Figura 17: Fondo del dibujo



Fuente: propia

2.3. Dibujo de los objetos

2.3.1. Dibujo de las áreas

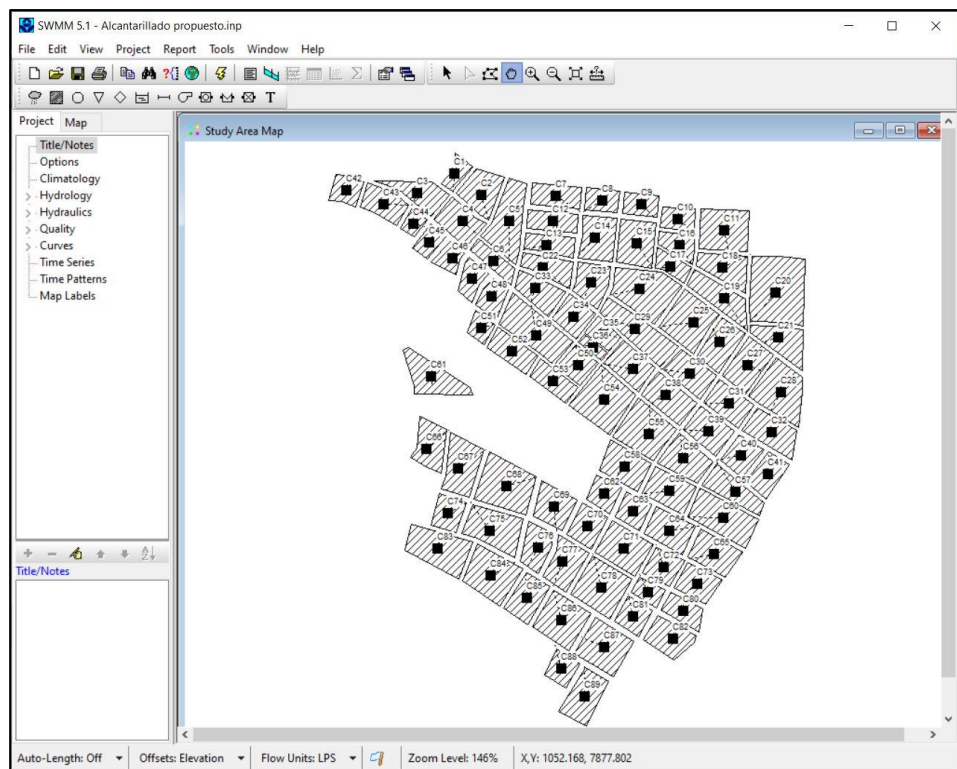
- 1) Seleccionar con el ratón el ícono  (subcatchment) de la barra de objetos, al seleccionar el ícono el ratón cambia y obtiene la forma de un lápiz.
- 2) Guiándose por el fondo previamente cargado mover el ratón al punto del mapa donde se desea insertar una de las esquinas de un área tributaria y pulsar el botón izquierdo del ratón.
- 3) Realizar el mismo procedimiento para cada una de las siguientes esquinas que tenga el área que se está dibujando y finalmente pulsar el botón derecho del ratón (o bien pulsar Enter) para cerrar el rectángulo.
No supone un problema que la forma del área no sea exactamente el deseado, es posible modificarla seleccionando el ícono  y

dándole clic al área que se quiera modificar, con ello se podrá modificar la ubicación de los vértices.

De igual modo, es recomendable dejar un espacio entre las áreas que se dibujen para tener espacio suficiente para posteriormente poder dibujar las uniones y los conductos.


- 4) Repetir el proceso para las demás áreas tributarias.

Figura 18: Dibujo de áreas



Fuente: propia

2.3.2. Dibujo de Nudos y Descargas

- 1) Para añadir los nudos se selecciona el ícono  (Junction node) de la barra de objetos.
- 2) Mover el ratón a la posición donde se desee insertar un nudo y pulsar el botón izquierdo del ratón.


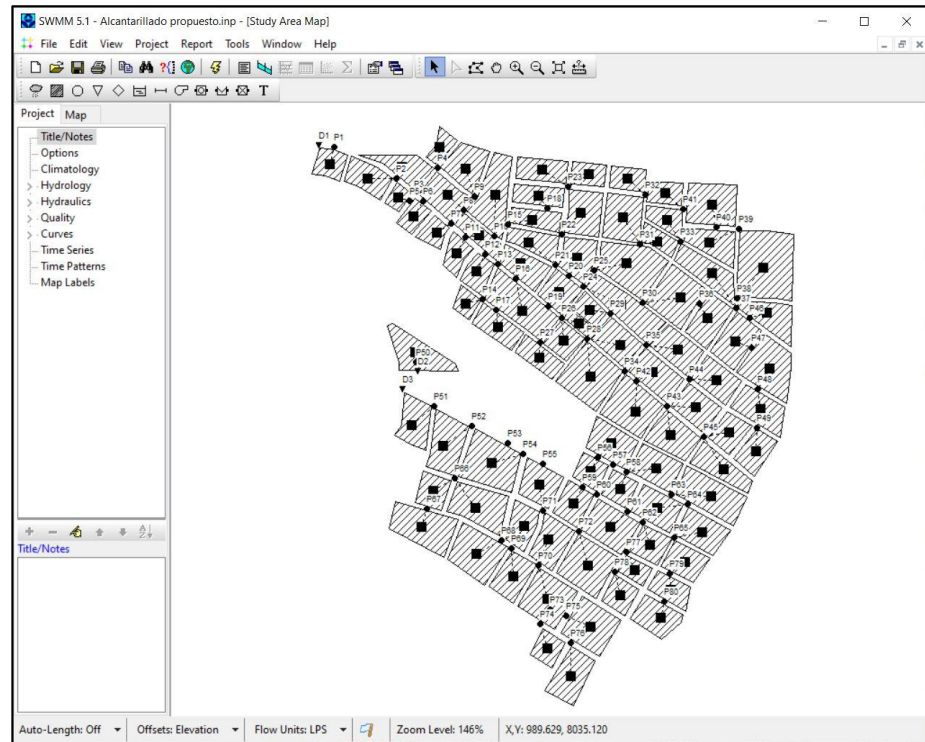

- 3) Para añadir una descarga (punto de vertido) se selecciona el ícono  (outfall node) de la barra de objetos y se procede de la misma manera que al añadir nudos.

Figura 19: Dibujo de nudos y descargas



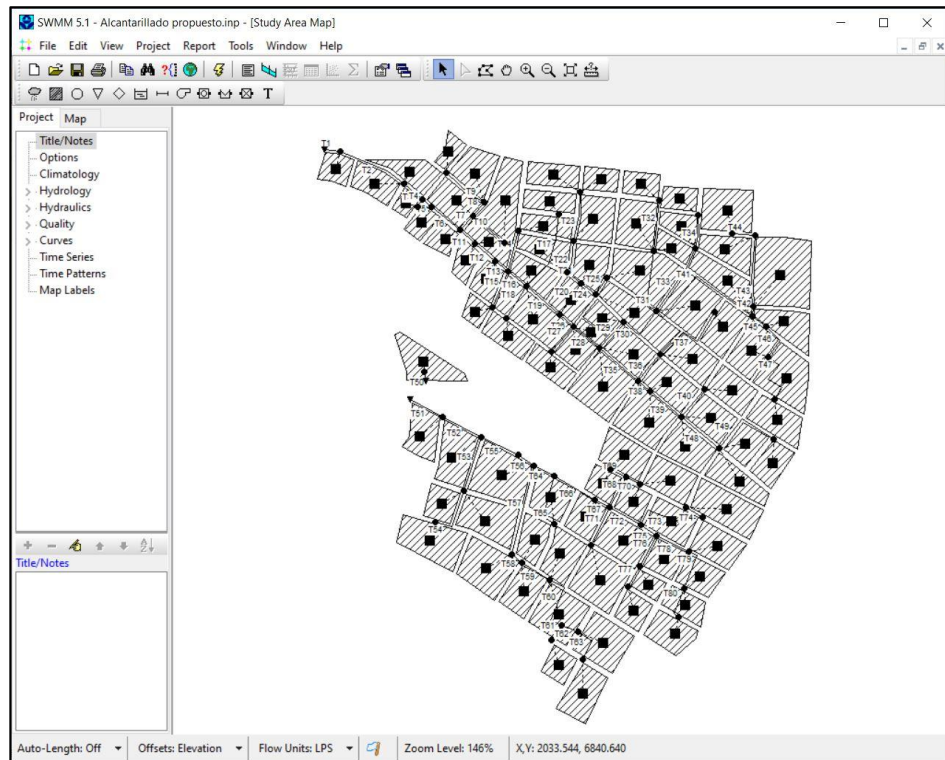
Fuente: propia

2.3.3. Dibujo de Conductos

- 1) Seleccionar el ícono  (conduit link) de la barra de objetos.
- 2) Seleccionar con un clic del ratón sobre un nudo deseado (que sería el punto de partida del conducto).
- 3) Mover el ratón hacia el nudo que representa al punto de llegada del conducto y hacer clic sobre el nudo. La operación puede cancelarse pulsando clic derecho o la tecla Esc.


Los conductos se pueden dibujar como líneas con curvas o vértices, para ello solo se debe definir los vértices que tiene el conducto con el botón izquierdo del ratón, uno por cada vértice.

Figura 20: Dibujo de conductos



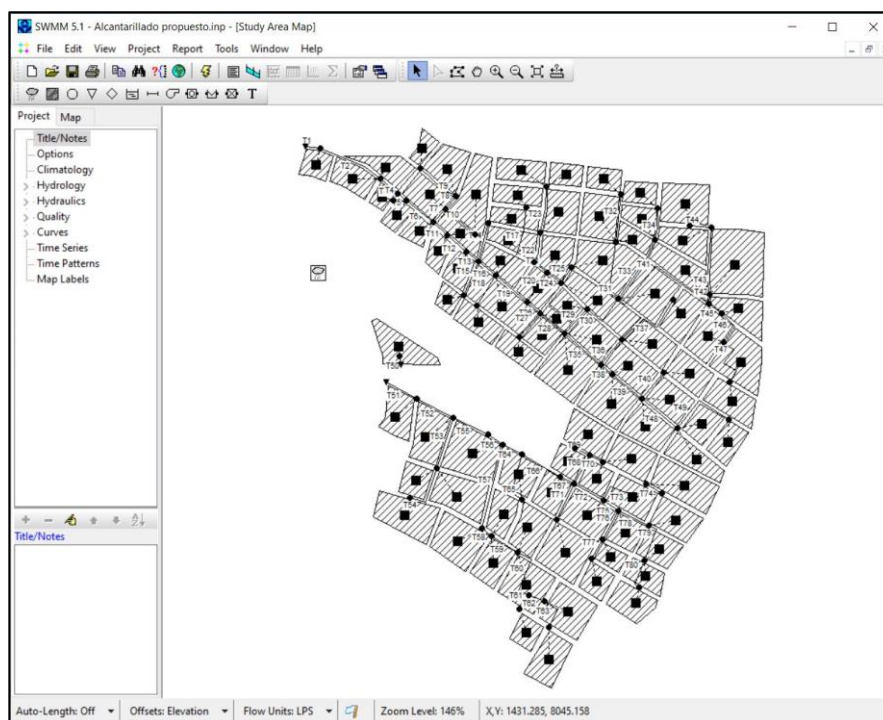
Fuente: propia

2.3.4. Pluviómetro

- 1) Seleccionar el ícono de pluviómetro  (rain gage) de la barra de objetos.
- 2) Desplazar el ratón sobre el plano del área de estudio del programa hasta el lugar donde se desea localizar el pluviómetro y pulsar click izquierdo del ratón.

El pluviómetro puede ubicarse en cualquier zona del mapa, tan solo es necesario que esté representado en algún lugar visible. Esto es porque para que el pluviómetro tenga efecto sobre una de las áreas, se lo define en las propiedades de cada área.


Figura 21: Dibujo del pluviómetro



Fuente: propia

2.3.5. Edición del dibujo de objetos


Si algún objeto (pluviómetro, nudo o área) se ha ubicado fuera del lugar al que le corresponde, es posible desplazarlo de sitio con los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar el ícono  con el botón izquierdo del ratón para situar el mapa en el modo selección de objetos.
- 2) Seleccionar con el botón izquierdo del ratón el objeto que se desea mover.
- 3) Arrastrar el objeto manteniendo pulsado el botón izquierdo del ratón hasta la posición que le corresponde.

2.4. Introducción de las propiedades de los objetos

Conforme los objetos son dibujados en el mapa, a éstos se les asignan las propiedades previamente definidas por defecto, para modificar las propiedades de algún objeto en específico se debe entrar al editor de propiedades del objeto.

Es posible acceder al editor mediante cualquiera de las siguientes acciones:

- Con un doble clic con el ratón sobre el objeto del mapa que se desea modificar
- Con clic derecho del ratón y seleccionando la opción “Propiedades” (properties) en el menú emergente.
- Seleccionando el objeto desde la página de datos del panel de navegación y pulsando el botón .

Cuando el editor de propiedades tenga el foco de la aplicación, es posible obtener una descripción más detallada de las propiedades incluidas en la ventana mediante la tecla F1.

2.4.1. Propiedades de las áreas tributarias

La figura 22 muestra la tabla con la ventana de propiedades en donde se pueden asignar las características a una de las áreas, se debe tener en cuenta que no es necesario llegar todas las opciones, tan solo las que sean relevantes para el proyecto.

Figura 22: Ventana de propiedades de las áreas






Subcatchment C1	
Property	Value
Name	C1
X-Coordinate	3177.662
Y-Coordinate	8008.235
Description	
Tag	
Rain Gage	LLUVIA
Outlet	P4
Area	3.336
Width	143.33
% Slope	0.03
% Imperv	80
N-Imperv	0.012
N-Perv	0.13
Dstore-Imperv	2.5
Dstore-Perv	2.5
%Zero-Imperv	20
Subarea Routing	IMPERVIOUS
Percent Routed	100
Infiltration Data	GREEN_AMPT
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0
N-Perv Pattern	
Dstore Pattern	
Infil. Pattern	
Optional monthly pattern that adjusts infiltration rate	

Fuente: propia

La tabla 15 describe individualmente las opciones que aparecen en la ventana de propiedades,

Tabla 23: Descripción de las propiedades de las áreas

Name	Nombre asignado por el usuario a la cuenca.
X-Coordinate	Ubicación horizontal del centroide del área de la cuenca en el mapa. Si se deja en blanco, el área no aparecerá en el mapa.
Y-Coordinate	Ubicación vertical del centroide del área de la cuenca en el mapa. Si se deja en blanco, el área no aparecerá en el mapa.
Description	Descripción opcional de la cuenca.
Tag	Etiqueta opcional utilizada para clasificar la cuenca.
Rain Gage	Nombre del pluviómetro asociado a la cuenca.
Outlet	Nombre del nudo o área que recibirá la escorrentía de la cuenca actual.
Area	Área de la cuenca (hectáreas o acres).
Width	Anchura característica del flujo debido a la escorrentía superficial (m o ft).
% Slope	Pendiente media de la cuenca, en %.
% Imperv	Porcentaje de la cuenca cuyo suelo es impermeable.
N-Imperv	Coeficiente n de Manning para el flujo superficial sobre el área impermeable de la cuenca.
N-Perv	Coeficiente n de Manning para el flujo superficial sobre el área permeable de la cuenca.
Dstore-Imperv	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la cuenca.
Dstore-Perv	Altura de almacenamiento en depresión sobre el área impermeable de la cuenca.
%Zero-Imperv	Porcentaje de suelo impermeable que no presenta almacenamiento en depresión.

Subarea Routing	<p>Selección del sentido del flujo interno entre las áreas impermeable y permeable de la cuenca.</p> <p>IMPERV. Flujo desde permeable hacia impermeable.</p> <p>PERV. Flujo desde impermeable hacia permeable.</p> <p>OUTLET. Ambas áreas aportan directamente la descarga.</p>
Percent Routed	Porcentaje de escorrentía entre las distintas áreas.
Infiltration Data	Pulsar  o [Enter] para editar los parámetros de infiltración de la cuenca.
Groundwater	Pulsar  o [Enter] para editar los parámetros del flujo de agua subterránea de la subcuenca.
Snow pack	Nombre del parámetros de nieve (si existe) asignado a la subcuenca.
LID Controls	Pulsar  o [Enter] para editar el uso de técnicas de drenaje sostenible.
Land Uses	Pulsar  o [Enter] para asignar usos de suelo de la subcuenca.
Initial Buildup	Pulsar  o [Enter] para especificar las cantidades iniciales de contaminantes acumulados en el área.
Curb Length	Longitud total de cunetas o cauces en la cuenca (m o ft). Se utiliza cuando la acumulación de contaminantes se define por unidad de longitud del cauce.
N-Perv Pattern	Patrón de tiempo mensual opcional que ajusta el coeficiente n de Manning permeable .
Dstore pattern	Patrón de tiempo mensual opcional que ajusta el almacenamiento en depresión.

Infil. pattern	Patrón de tiempo mensual opcional que ajusta la tasa de infiltración.
----------------	---

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.144

2.4.2. Propiedades de los nudos y descargas

La figura 23 muestra la tabla con la ventana de propiedades en donde se pueden asignar las características de los nudos. En este proyecto solo se trabaja con la cota de fondo y la profundidad máxima, por lo que algunas opciones se las deja en 0 (es decir que no presentan).



Figura 23: Ventana de propiedades de los nudos

Property	Value
Name	P1
X-Coordinate	2000.658
Y-Coordinate	8001.420
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	85.86
Max. Depth	1.5
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Poned Area	0
User-assigned name of junction	

Fuente: propia

La tabla 16 describe brevemente la definición de cada propiedad que se le puede asignar a un nudo.

Tabla 24: descripción de las propiedades de los nudos

Name	Nombre asignado por el usuario a la conexión.
X-Coordinate	Ubicación horizontal de la conexión en el mapa. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el mapa.
Y-Coordinate	Ubicación vertical de la conexión en el mapa. Si se deja en blanco la conexión no aparecerá en el mapa.
Description	Descripción opcional de la conexión
Tag	Etiqueta opcional de la conexión
Inflows	Pulsar  o [Enter] para asignar una serie temporal (Direct), caudal de tiempo seco (Dry Weather) o aportes por infiltración en la red (RDII)
Treatment	Pulsar  o [Enter] para editar el conjunto de funciones que describen el tratamiento de contaminantes en la conexión.
Invert El.	Cota de la solera o fondo de la conexión (m o ft).
Max. Depth	Profundidad o nivel máximo en la conexión (medido desde la cota del terreno, en m o ft)
Initial Depth	Nivel del agua al comienzo de la simulación (m o ft)
Surcharge Depth	Altura adicional de agua por encima del máximo antes de que aparezca la inundación (m o ft). Se utiliza para simular pozos con la tapa soldada o cubierta.
Ponded Area	Área ocupada por el agua acumulada sobre la conexión en caso de inundación (m ² o ft ²)

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.145

La figura 24 muestra la ventana de propiedades para las descargas, al igual que con las áreas tributarias, no todas las opciones deben de llenarse, solo las que sean necesarias para esta simulación.

Figura 24: Ventana de propiedades de las descargas



Outfall D1 x	
Property	Value
Name	D1
X-Coordinate	1836.972
Y-Coordinate	8025.711
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	85.78
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE
Fixed Outfall	
Fixed Stage	0
Tidal Outfall	
Curve Name	*
Time Series Outfall	
Series Name	*
X coordinate of outfall on study area map	

Fuente: propia

La tabla 17 describe la definición de cada propiedad que se le puede asignar a una descarga.

Tabla 25: Descripción de las propiedades de las descargas

Name	Nombre asignado por el usuario al vertido.
X-Coordinate	Ubicación horizontal de la descarga en el plano. Si se deja en blanco la descarga no aparecerá en el plano.

Y-Coordinate	Ubicación vertical de la descarga en el plano. Si se deja en blanco la descarga no aparecerá en el plano.
Description	Descripción opcional de la descarga.
Tag	Etiqueta opcional utilizada para clasificar la descarga.
Inflows	Pulsar  o [Enter] para asignar una serie temporal (Direct), caudal de tiempo seco (Dry Weather) o aportes por infiltración en la red (RDII).
Treatment	Pulsar  o [Enter] para editar el conjunto de funciones que describen el tratamiento de contaminantes en la descarga.
Invert El.	Cota de la solera o fondo del punto de vertido (en m o ft).
Tide Gate	YES. Existe compuerta para prevenir flujo inverso NO. No existe compuerta
Route to	Nombre opcional de un área tributaria que recibe la descarga.
Type	Condición de contorno en la descarga: FREE: Nivel de descarga determinado por el mínimo entre el flujo crítico y el flujo normal del conducto. NORMAL: Nivel de descarga basada en el flujo uniforme del conducto. FIXED: Nivel de descarga constante TIDAL: Nivel de descarga dado por una curva de nivel de la marea a cada hora del día. TIMESERIES: Nivel de descarga a un nivel aportado en forma de serie temporal.
Fixed Outfall (Descarga a nivel constante)	

Fixed Stage	Nivel del agua fijo para descarga de tipo FIXED (en m o ft).
Tidal Outfall (Descarga en función de la marea)	
Curve Name	Nombre de la curva que representa el nivel del agua a cada hora del día para descargas del tipo TIDAL (hacer doble clic para editar la curva)
Time Series Outfall (Serie temporal)	
Series Name	Nombre de la serie temporal con los datos de nivel de agua para descargas del tipo TIMESERIES (hacer doble clic para editar la serie).

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.146

2.4.3. Propiedades de los conductos

En la figura 25 se muestra la ventana de propiedades para los conductos.

Figura 25: Ventana de propiedades de conductos


Conduit T1	
Property	Value
Name	T1
Inlet Node	D1
Outlet Node	P1
Description	
Tag	
Shape	RECT_CLOSED
Max. Depth	1.2
Length	90.74
Roughness	0.013
Inlet Offset	*
Outlet Offset	*
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
User-assigned name of Conduit	

Fuente: propia

La tabla 18 describe cada una de las propiedades que se le pueden asignar a los conductos.

Tabla 26: descripción de las propiedades de los conductos

Name	Nombre asignado por el usuario al conducto.
Inlet Node	Nombre del nudo inicial del conducto (normalmente el de mayor cota).
Outlet Node	Nombre del nudo final del conducto (normalmente el de menor cota).
Description	Descripción opcional del conducto.

Tag	Etiqueta opcional utilizada para clasificar al conducto.
Shape	Pulsar  o [Enter] para editar las características geométricas de la sección transversal del conducto.
Max. Depth	Profundidad máxima de la sección transversal del conducto (m o ft).
Length	Longitud del conducto (m o ft).
Roughness	Coefficiente de rugosidad n de Manning
Inlet Offset	Desnivel entre la base del nudo inicial y la del conducto.
Outlet Offset	Desnivel entre la base del nudo inicial y la del conducto.
Initial Flow	Caudal inicial en el conducto al comienzo de la simulación (en unidades de caudal)
Maximun Flow	Máximo caudal permitido en la simulación mediante Onda Dinámica en condiciones de sobrecarga (en unidades de caudal). Usar 0 si no es aplicable.
Entry Loss Coeff.	Coefficiente de pérdidas menores debidas a la entrada en el conducto.
Exit Loss Coeff.	Coefficiente de pérdidas menores debidas a la salida del conducto.
Avg. Loss Coeff.	Coefficiente de pérdidas menores a lo largo del conducto.
Seepage Loss Rate	Tasa de pérdidas por filtración.
Flap Gate	YES. El conducto dispone de una compuerta para evitar flujo inverso. NO. El conducto no dispone de compuerta.
Culvert Code	Número de código de la geometría de entrada si el conducto es una alcantarilla sujeta a un

	posible control de flujo de entrada. Dejar en blanco si no aplica.
--	--

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.149

2.4.4. Propiedades del pluviómetro

En la figura 26 se muestra la ventana de propiedades para el pluviómetro, es decir la lluvia con la que se modelará el sistema.

Figura 26: Propiedades del pluviómetro

Rain Gage LLUVIA x	
Property	Value
Name	LLUVIA
X-Coordinate	1990.891
Y-Coordinate	6547.046
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:20
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	PRECIPITACION
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	IN
User-assigned name of rain gage	

Fuente: propia

En la tabla 19 se describe cada propiedad que se le puede asignar a un pluviómetro.

Tabla 27: descripción de las propiedades del pluviómetro

Name	Nombre asignado por el usuario al pluviómetro.
X-Coordinate	Ubicación horizontal del pluviómetro en el mapa. Si se deja en blanco el pluviómetro no aparecerá en el mapa.
Y-Coordinate	Ubicación vertical del pluviómetro en el mapa. Si se deja en blanco el pluviómetro no aparecerá en el mapa
Description	Descripción opcional del pluviómetro.
Tag	Etiqueta opcional utilizada para clasificar el pluviómetro.
Rain Format	Formato de los datos de lluvia suministrados: INTENSITY (Hietograma). Cada valor de precipitación es la intensidad media de lluvia (mm/h o in/h) a lo largo del intervalo de registro. VOLUMEN (Pluviograma). Cada valor de precipitación es el volumen de lluvia recogido durante el intervalo de registro (mm o in). CUMULATIVE (Pluviograma acumulado). Cada valor de precipitación representa la precipitación acumulada desde el inicio de la lluvia (mm o in).
Time interval	El intervalo de tiempo transcurrido entre cada lectura del pluviómetro en formato decimal o bien como hh:mm.
Snow Catch Factor	Factor que corrige las lecturas por nieve en el pluviómetro.
Data Source	Fuente de datos de lluvia: TIMESERIES . Serie temporal suministrada por el usuario. FILE . Archivo externo de datos.
Time Series (Serie temporal)	
Series Name	Nombre de la serie temporal con los datos de lluvia si el origen de datos es una serie temporal (dejar en blanco en cualquier otro caso)

Data file (Archivo externo)	
File Name	Nombre del archivo externo que contiene los datos de lluvia.
Station ID	Identificador de la estación donde está el pluviómetro cuyos datos se van a utilizar.
Rain units	Unidades en que están expresados los datos de lluvia del fichero (mm o in)

Fuente: Rossman, 2015, SWMM Modelo de gestión de aguas pluviales 5.0 vE Manual de usuario, p.143

2.4.5. Serie temporal

Al pluviómetro se le debe asignar los datos de una lluvia para que se pueda realizar la simulación, para ello se le asigna una serie temporal (se puede encontrar en la página de datos del panel de navegación, en la sección de “Curves”).

No es necesario asignarle la fecha (Date), en esta ventana se ingresa el hietograma de diseño, para ello se ingresa el tiempo (Time) con su respectivo intervalo y el valor (Value) para cada tiempo.

Figura 27: Ventana de edición de serie temporal

Time Series Editor

Time Series Name

Description

Use external data file named below

Enter time series data in the table below
 No dates means times are relative to start of simulation.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	00:00	0
	00:20	2.60
	00:40	2.77
	01:00	2.98
	01:20	3.25
	01:40	3.62
	02:00	4.14
	02:20	4.98
	02:40	6.70
	03:00	21.08
	03:20	8.73

View

OK

Cancel


Help

Fuente: propia

2.5. Inicio de una simulación

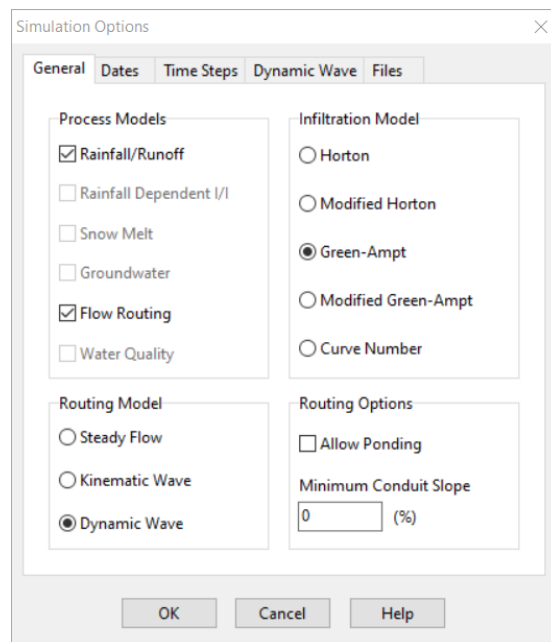
2.5.1. Introducción de las Opciones de Simulación

Antes de analizar el comportamiento del sistema es necesario establecer algunas opciones para determinar las condiciones en las que se realizara el análisis.

- 1) Seleccionar la categoría **Options** en el visor de datos (**Project**) y pulsar el botón .

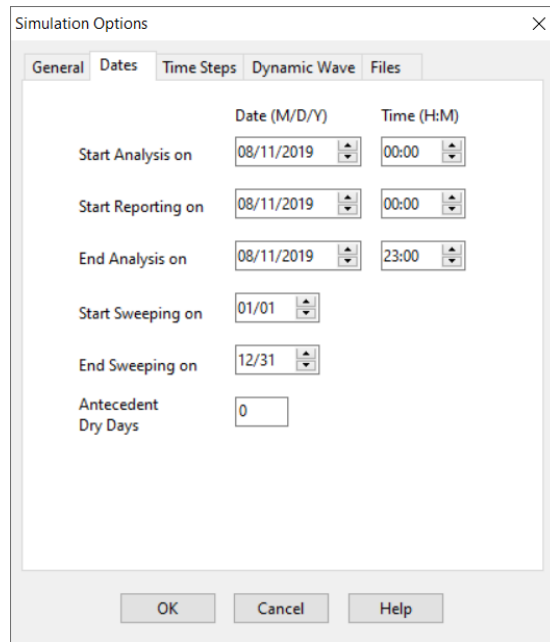
- 2) En la pestaña **General** de la ventana de diálogo de las opciones de simulación, seleccionar la opción **Dynamic Wave** como método de análisis del flujo. El método de infiltración empleado será el método de **Green-Ampt**.
- 3) En la pestaña **Dates** especificar el tiempo del fin de análisis a las 23:00:00.
- 4) En la pestaña **Time Steps** especificar el cálculo hidráulico (**Roting Step**) en 60 segundos.

Figura 28: Opciones de simulación-General



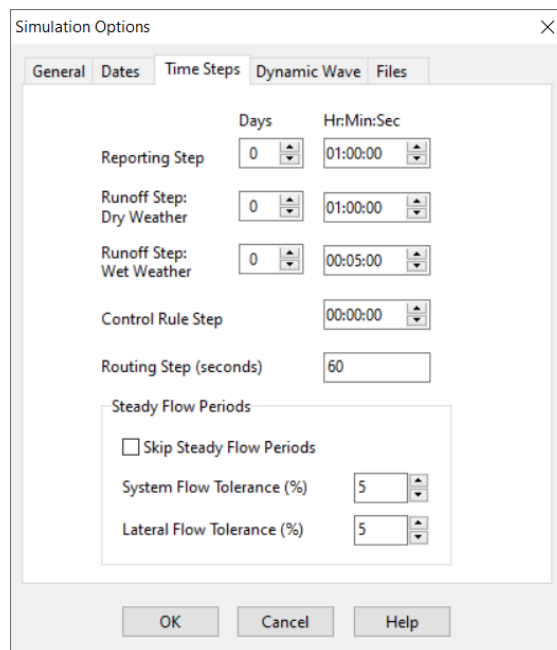
Fuente: propia

Figura 29: Opciones de simulación-Dates



Fuente: propia


Figura 30: Opciones de simulación-Time Steps



Fuente: propia

2.5.2. Realizando la simulación

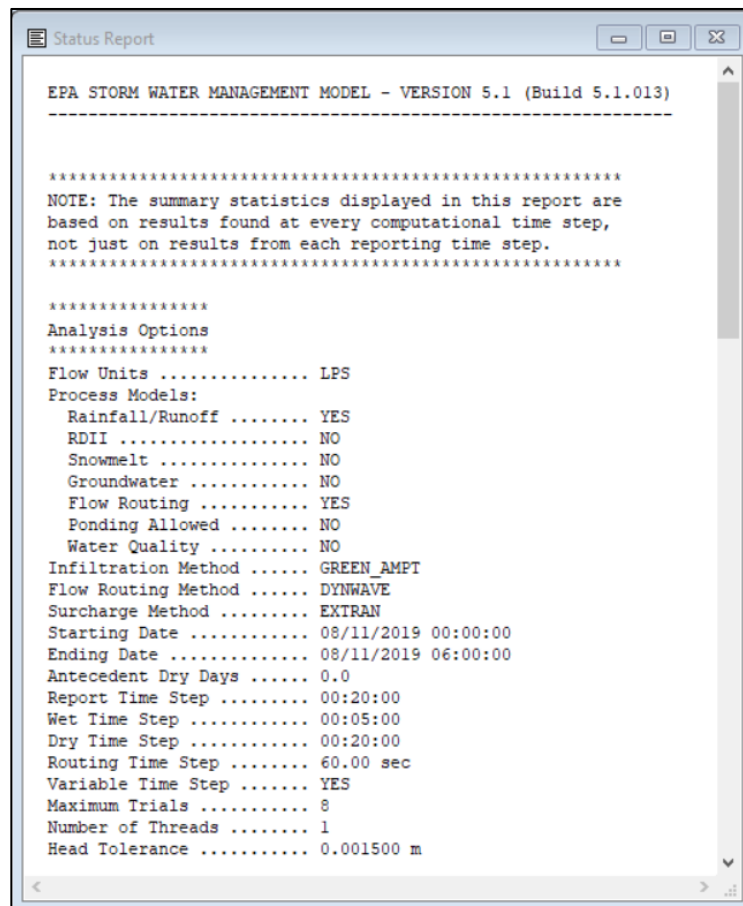
Después de haber introducido los datos ya se está en condiciones de realizar la simulación. Para comenzar con la simulación se debe

seleccionar la opción **Project-Run Simulation**, o bien pulsando el botón . En el caso de que se produzca algún tipo de problema durante la simulación, aparecerá un informe de estado describiendo los errores que han sucedido. Una vez completa de forma exitosa la simulación, existen multitud de formas de visualizar los resultados de la simulación.

2.5.3. Revisión del informe de estado

El informe de estado contiene un resumen útil de información relacionada con los cálculos de la simulación. Para visualizar este informe se debe seleccionar la opción **Report-Status**.

Figura 31: ventana de reporte de estado



```

EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.1 (Build 5.1.013)
-----

*****
NOTE: The summary statistics displayed in this report are
based on results found at every computational time step,
not just on results from each reporting time step.
*****

*****
Analysis Options
*****
Flow Units ..... LPS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... YES
  Ponding Allowed ..... NO
  Water Quality ..... NO
  Infiltration Method ..... GREEN_AMPT
  Flow Routing Method ..... DYNWAVE
  Surcharge Method ..... EXTRAN
Starting Date ..... 08/11/2019 00:00:00
Ending Date ..... 08/11/2019 06:00:00
Antecedent Dry Days ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:20:00
Wet Time Step ..... 00:05:00
Dry Time Step ..... 00:20:00
Routing Time Step ..... 60.00 sec
Variable Time Step ..... YES
Maximum Trials ..... 8
Number of Threads ..... 1
Head Tolerance ..... 0.001500 m

```

Fuente: propia

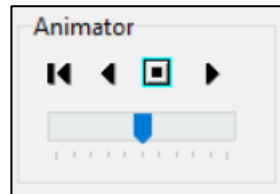
2.5.4. Presentación de resultados sobre el mapa

Existe la posibilidad de presentar mediante códigos de colores sobre el mapa del área estudiada tanto los resultados de la simulación como algunos parámetros de diseño tales como el área de la cuenca, la cota de fondo de los nudos, la profundidad máxima de una línea, etc. Para representar una determinada variable de esa forma:

- 1) Seleccionar la página **MAP** en el visor.
- 2) Seleccionar las variables que se desean visualizar de las cuencas, nudos y líneas a partir de los desplegados que aparecen bajo la sección de **Themes**, en las que se encuentran **subcatchments, nodes, links**.
- 3) El código de colores de cualquiera de las variables se representa mediante una leyenda incluida sobre el mapa. Para cambiar la visualización o la no visualización de dichas leyendas sobre el mapa se debe seleccionar la opción **View-Legends**.
- 4) Para desplazar la leyenda a otra posición se arrastra con el botón izquierdo del ratón pulsando y soltando cuando la leyenda se encuentre en la posición deseada.
- 5) Para cambiar el código de colores y los valores límite de cada uno de los rangos, seleccionar la opción **View-Legends-Modify** y después la clase del objeto correspondiente a la leyenda que se desea modificar. También puede accederse al mismo formulario pulsando el botón derecho del ratón sobre la leyenda en el mapa.
- 6) Los controles de día, hora y tiempo transcurrido del visor del plano se pueden utilizar para desplazar los resultados presentados en diferentes instantes de tiempo.

- 7) Para realizar una animación de la representación del mapa a lo largo del tiempo se puede utilizar la barra de **Animator** ubicada en la pestaña **Map**.

Figura 32: Herramienta de animación



Fuente: propia

2.5.5. Gráficos de series temporales

Para generar un gráfico de series temporales con los resultados de la animación:


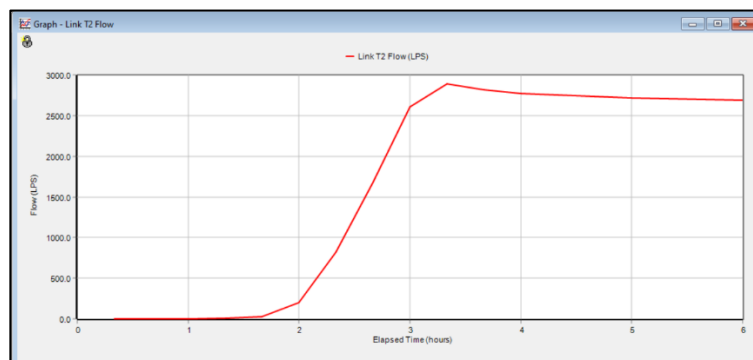
- 1) Seleccionar **Report-Graph-Time series** o simplemente pulsar el botón  de la barra de herramientas estándar.
- 2) A continuación, aparece el formulario de gráficos de series temporales. Este formulario se emplea para seleccionar los objetos y variable que se va a representar.

Figura 33: Grafico de serie temporal de cauda



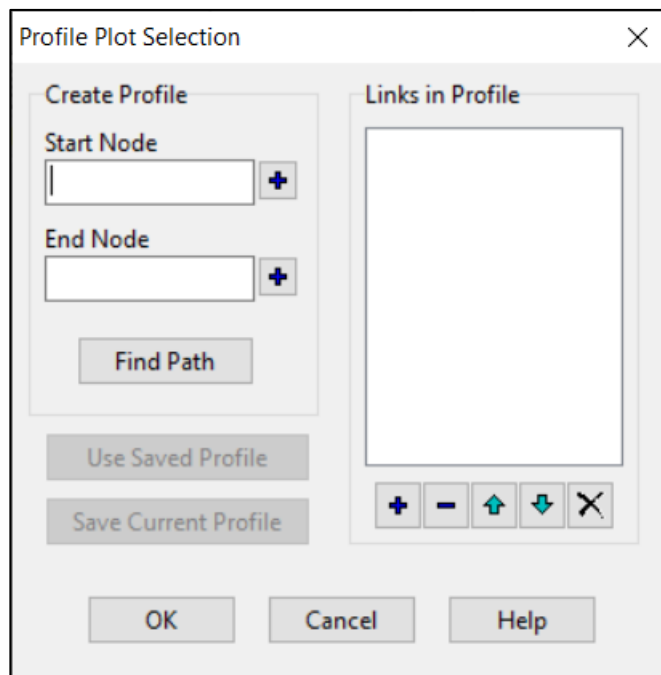
Fuente: propia

2.5.6. Gráficos de perfiles longitudinales


SWMM puede generar gráficos que muestren perfiles longitudinales y gráficos mostrando cómo evoluciona el nivel de agua a lo largo de un determinado camino de nudos y líneas conectados entre sí.

- 1) Seleccionar la opción **Report-Graph-Profile** o solo pulsar el botón  de la barra de herramientas estándar.

Figura 34: Ventana de gráfico de perfiles

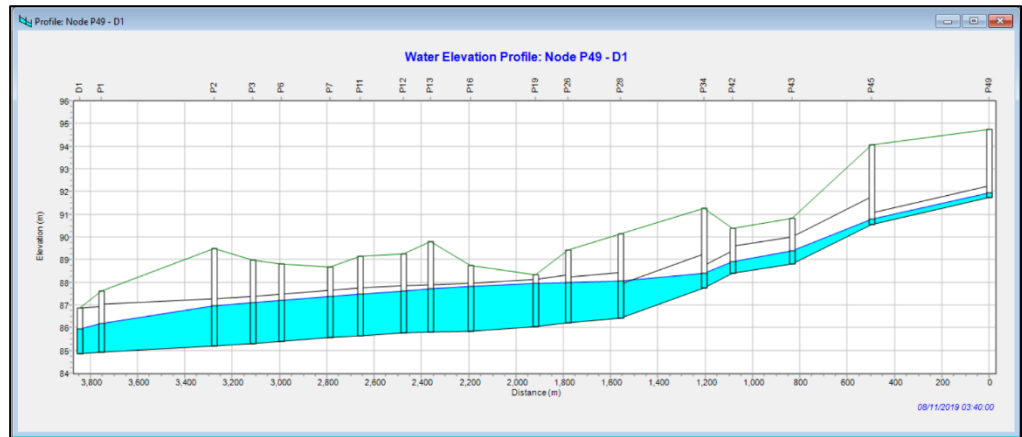


Fuente: propia

- 2) En la ventana de gráfico, introducir el nudo inicial del perfil que se desea crear en el campo **Start Node** y el nudo final en el campo **End Node**. También se puede seleccionar el nudo deseado en el mapa y pulsar el botón  en el campo deseado.
- 3) Seleccionar el botón **Find Path**, aparecerá una lista ordenada de los conductos que componen el camino entre el nudo inicial al nudo final.

- 4) Pulsar el botón **OK** para que se genere el gráfico del perfil longitudinal. Conforme cambie el instante de tiempo actual mediante la ventana de animación, el nivel de agua en el gráfico se actualiza.

Figura 35: Gráfico de perfil longitudinal



Fuente: propia



UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTENOR ORREGO



FACULTAD DE
INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
HIDRÁULICA

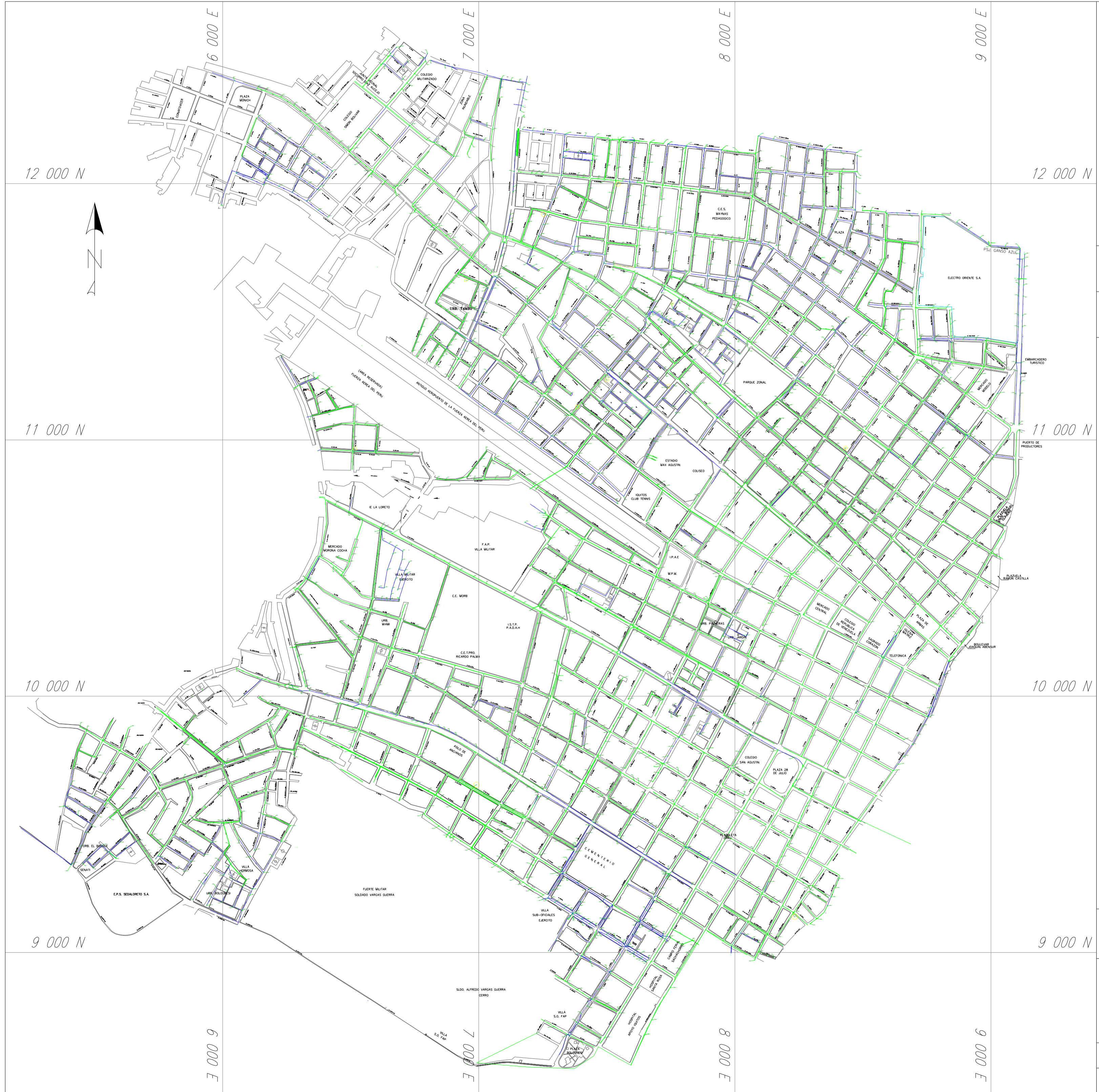
DISTRITO DE IQUITOS


MG. ING. RICARDO
NARVAEZ
ARANDA

AUTOR:
BR. GELDRES RIOS, MARIO

1:10000
MARZO 2020

LÁMINA:
01



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

ALCANTARILLADO DEL DISTRITO DE IQUITOS

MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA
 AUTOR:
 BR. GELDRES RIOS, MARIO

1:10000	LÁMINA:
MARZO 2020	02



UNIVERSIDAD
PRIVADA
ANTENOR ORREGO



FACULTAD DE
INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL
DE INGENIERÍA CIVIL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
HIDRÁULICA

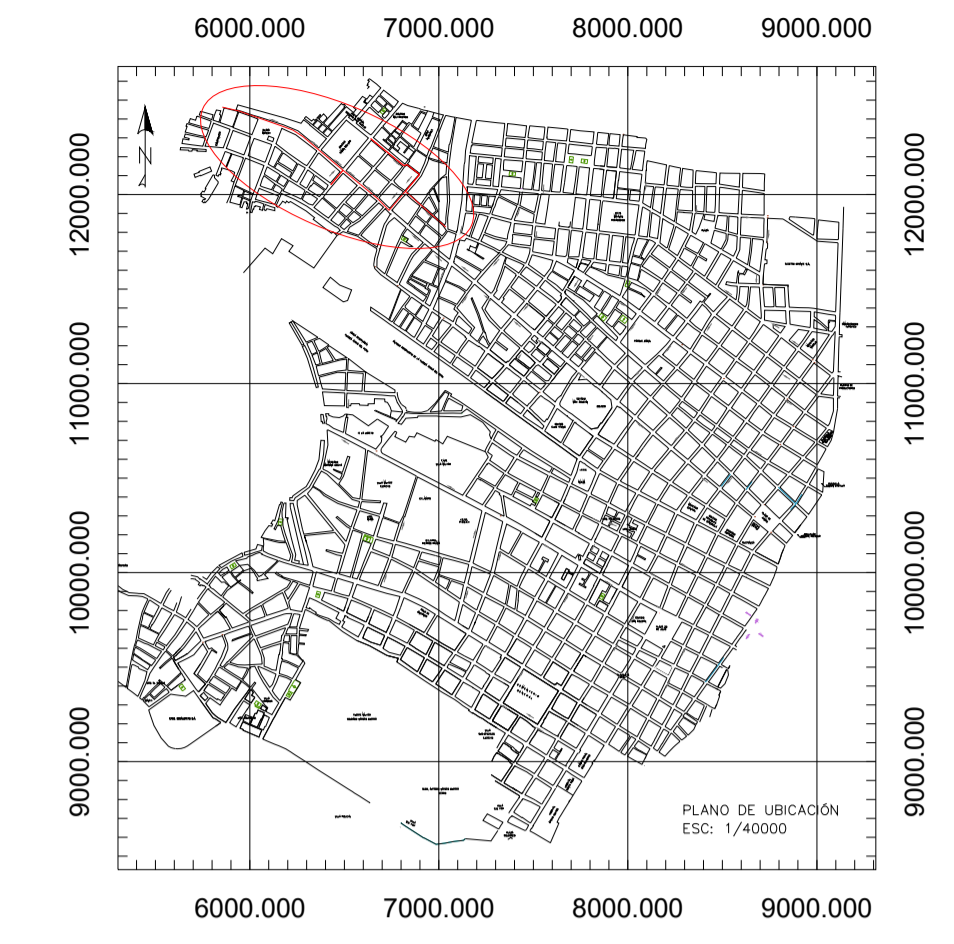
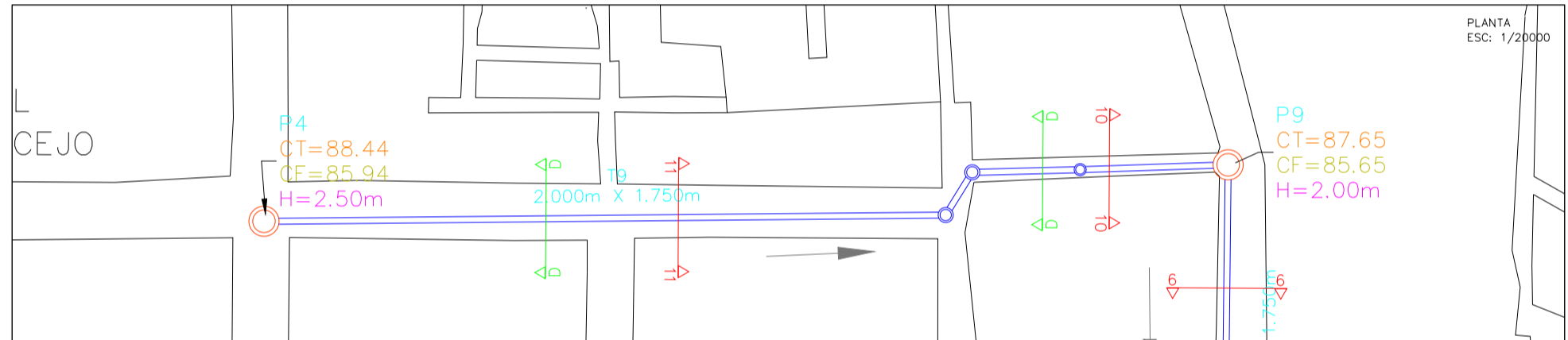
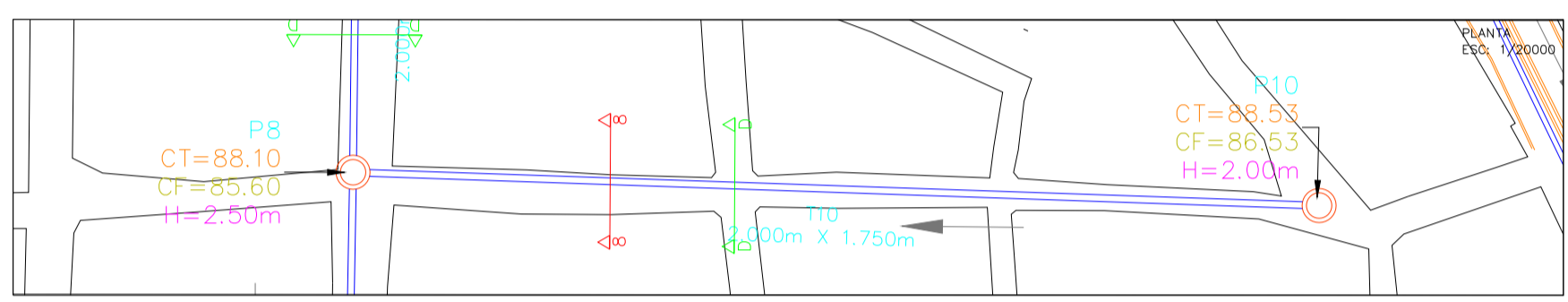
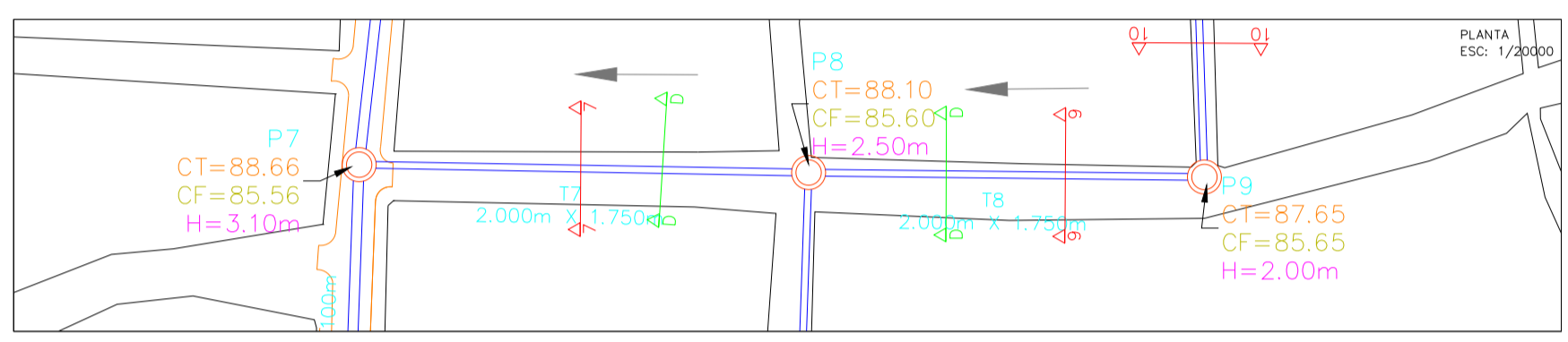
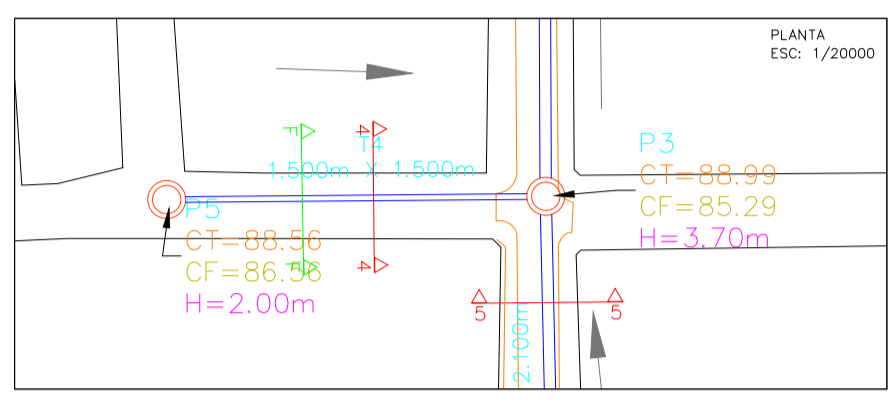
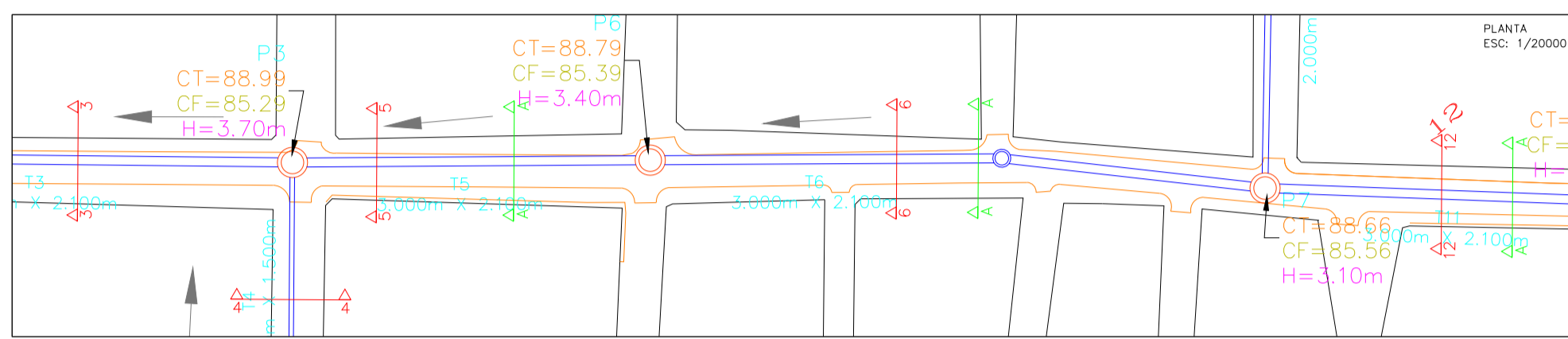
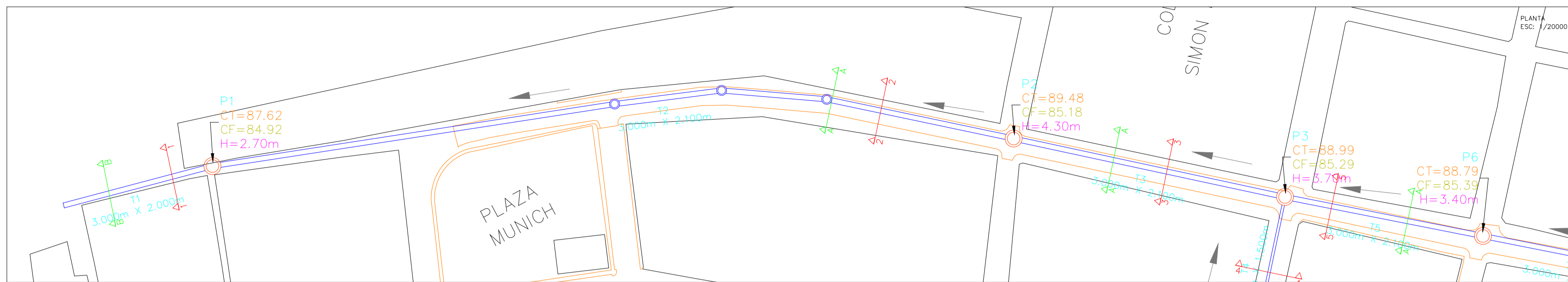
CUENCAS DEL DISTRITO

MG. ING. RICARDO
NARVAEZ
ARANDA

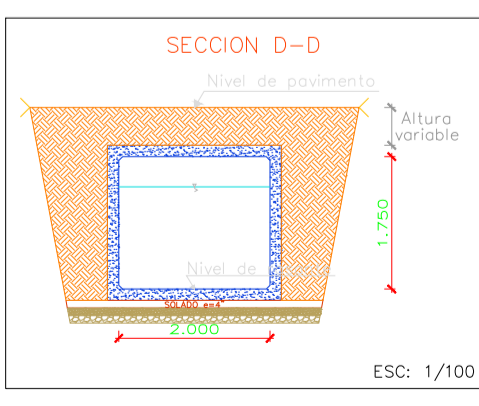
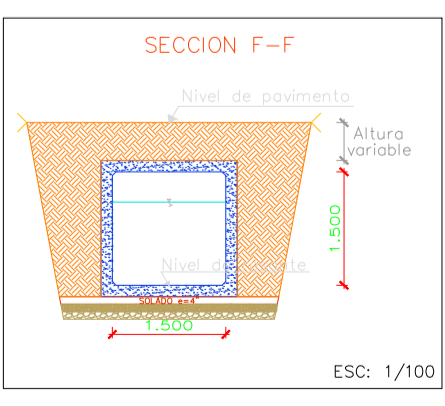
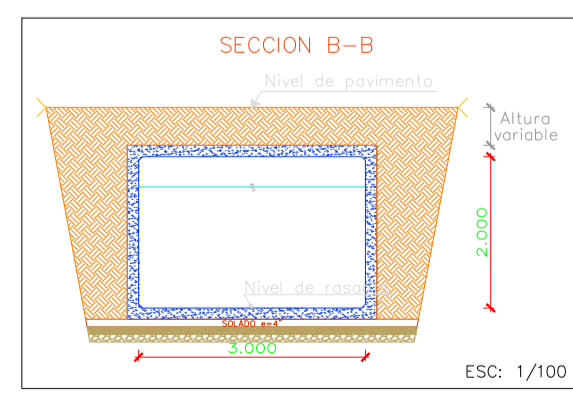
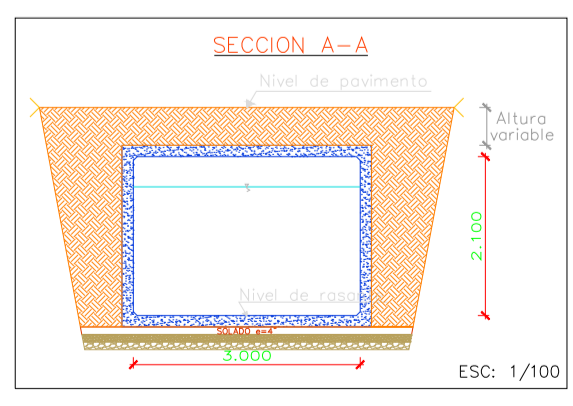
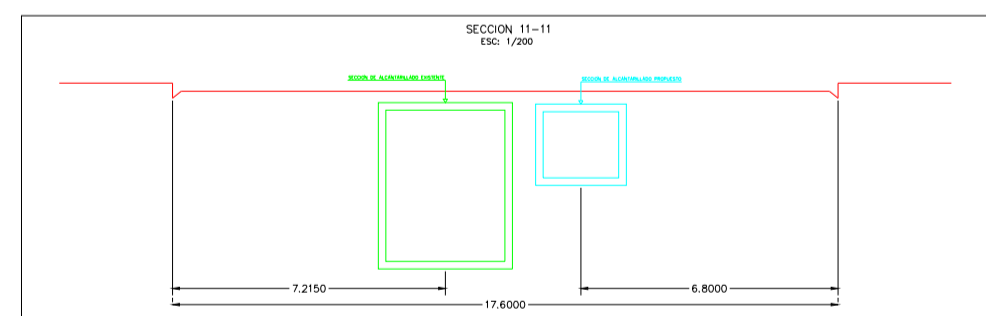
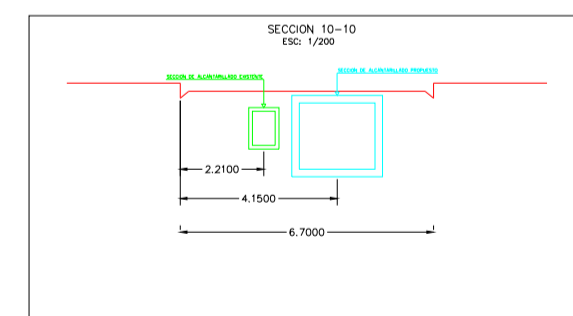
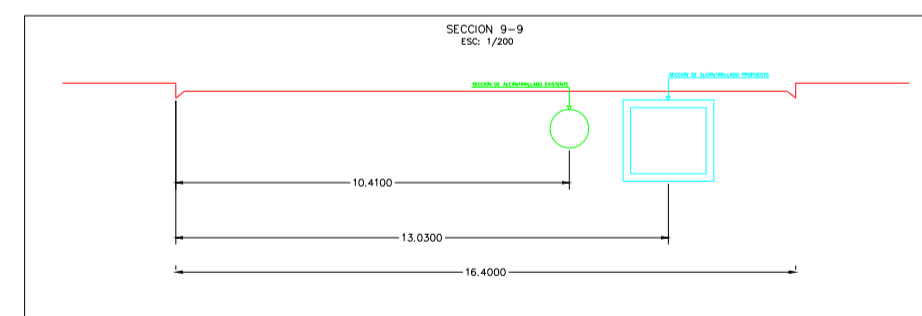
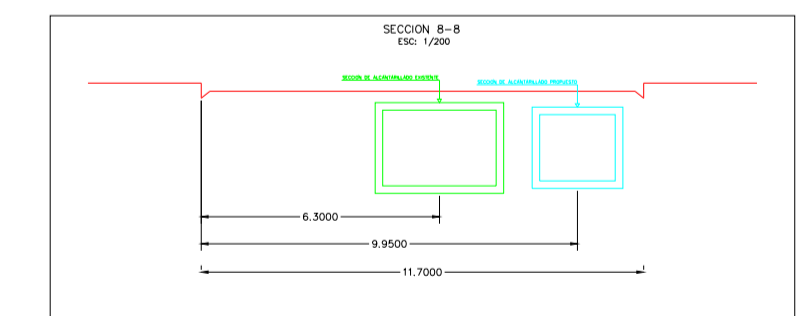
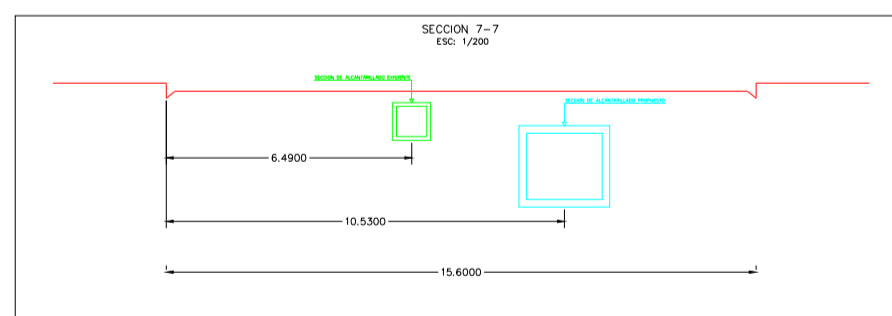
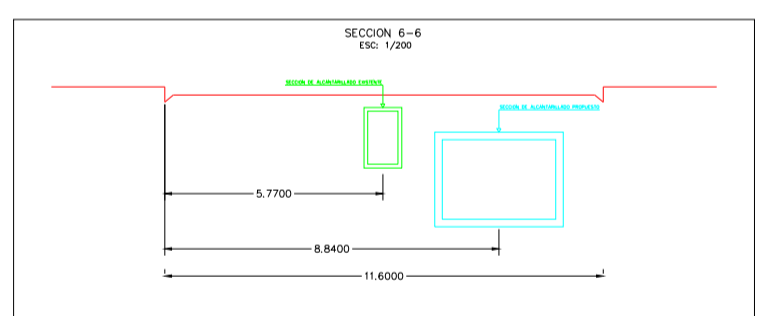
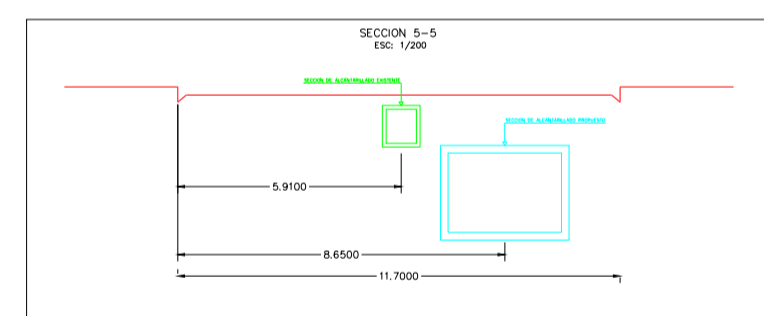
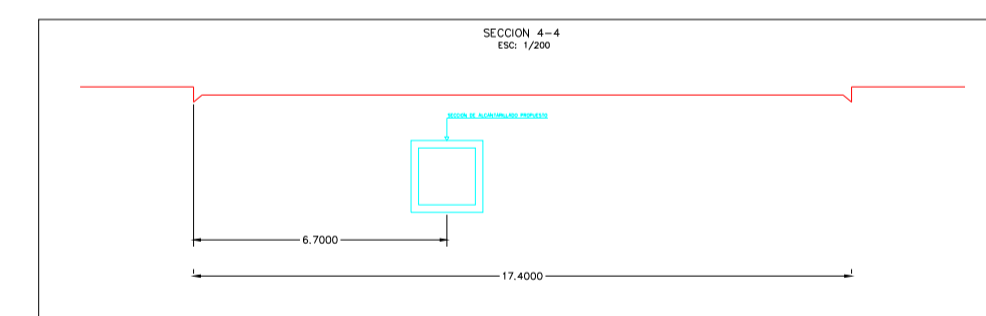
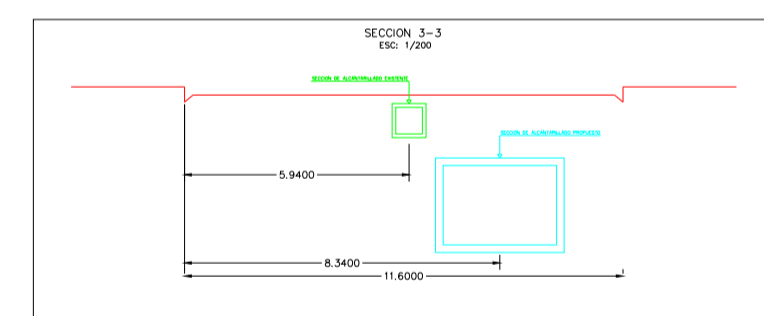
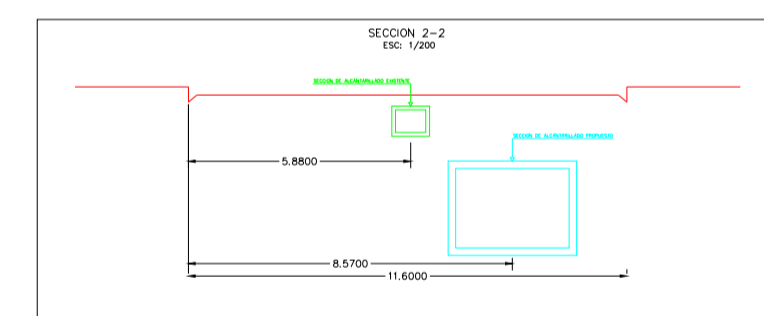
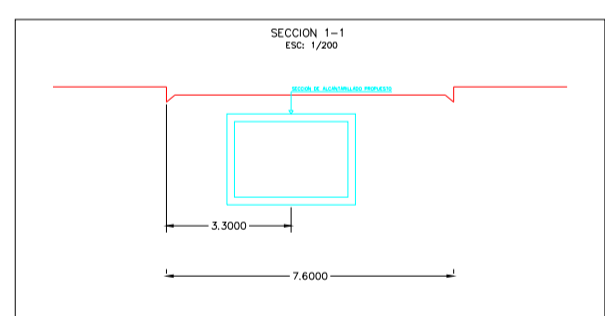
AUTOR:
BR. GELDRES RIOS, MARIO

1:20000
MARZO 2020

LÁMINA:
03



COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P1	5942.2	12441.9
P2	6367.2	12234.2
P3	6492.4	12128.6
P4	6638.8	12295.7
P5	6428.0	12051.7
P6	6584.7	12053.3
P7	6736.5	11916.0
P8	6822.7	12016.7
P9	6898.1	12106.0
P10	7036.5	11827.5



UNIVERSIDAD PRIVADA
ANTENOR ORREGO

SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL URBANO PROPUESTO

AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

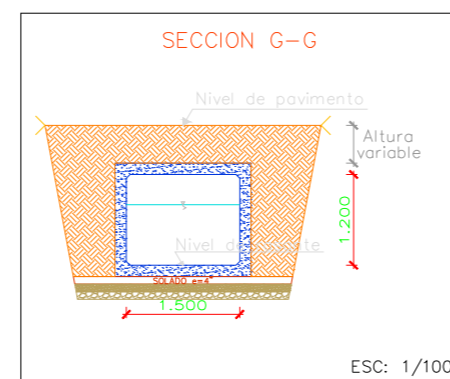
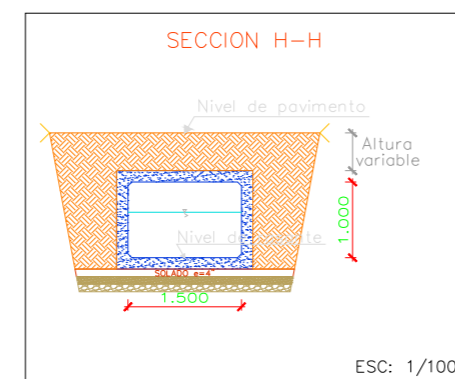
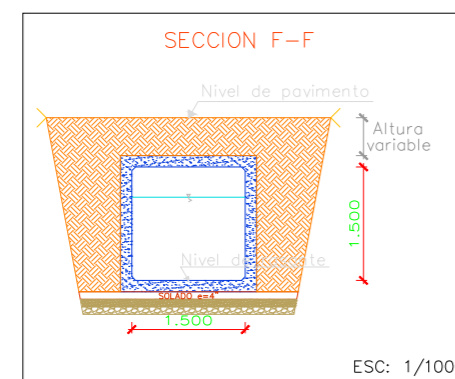
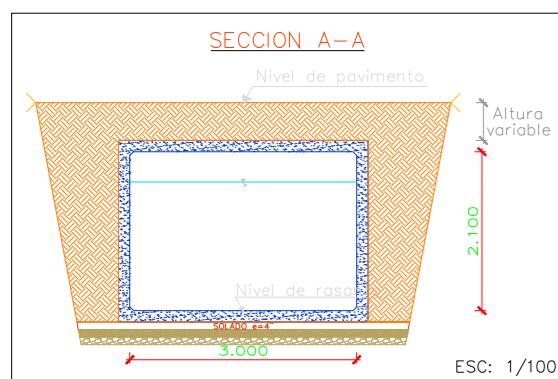
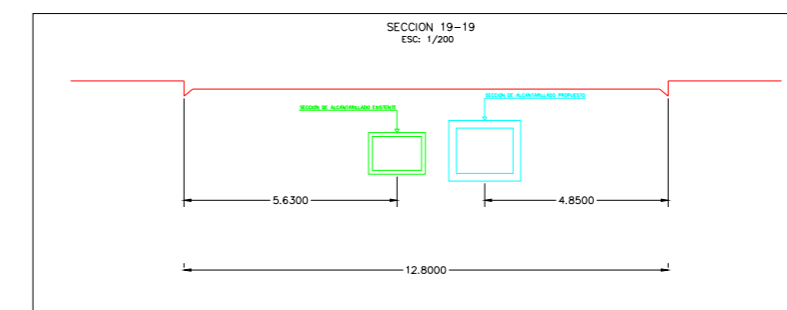
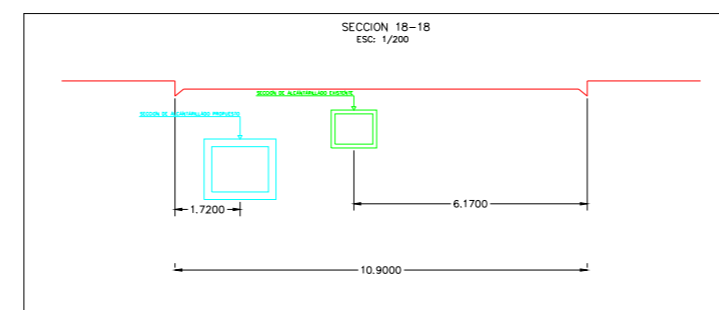
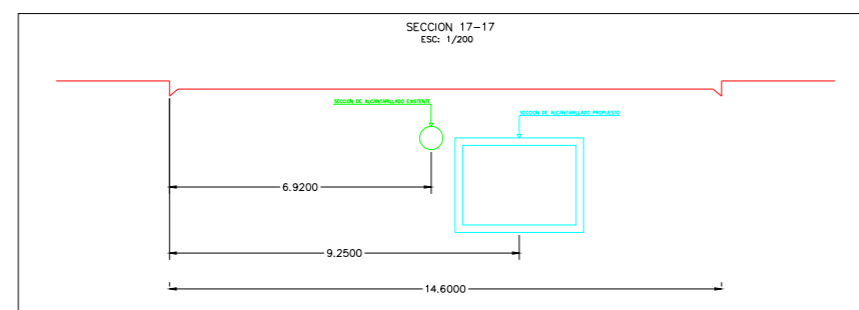
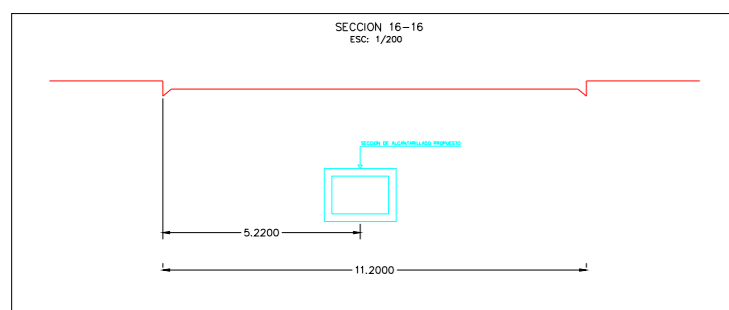
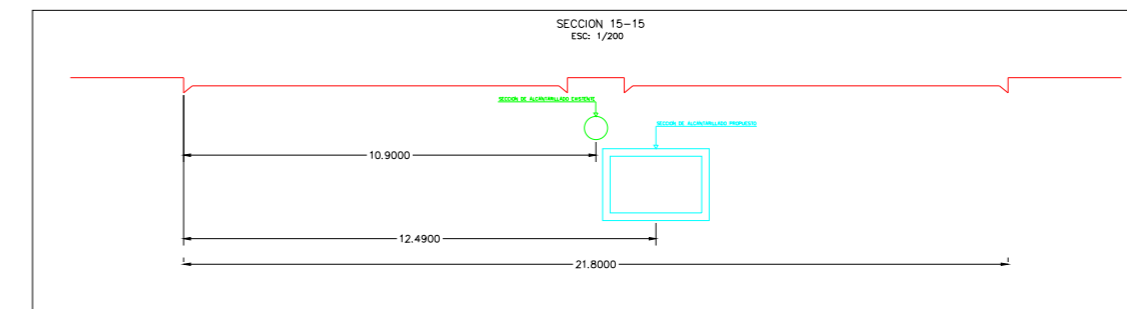
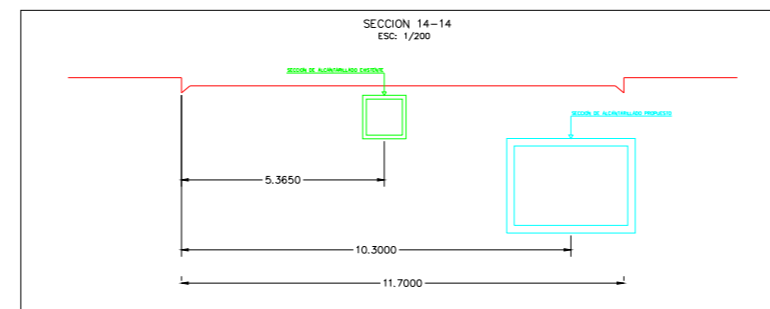
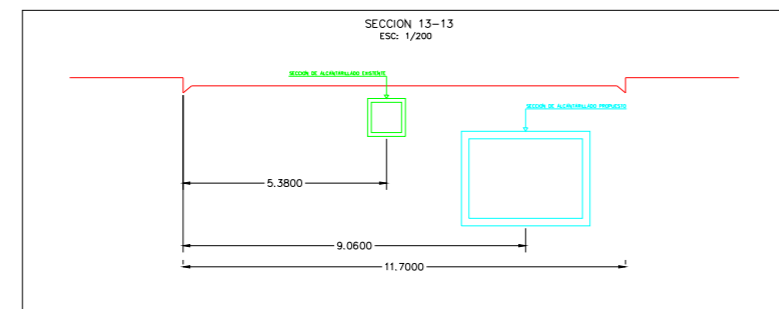
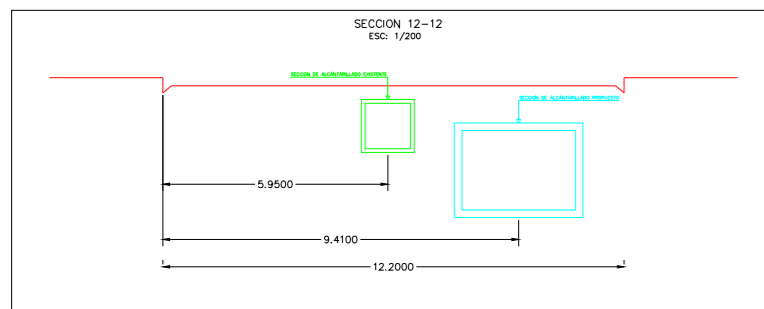
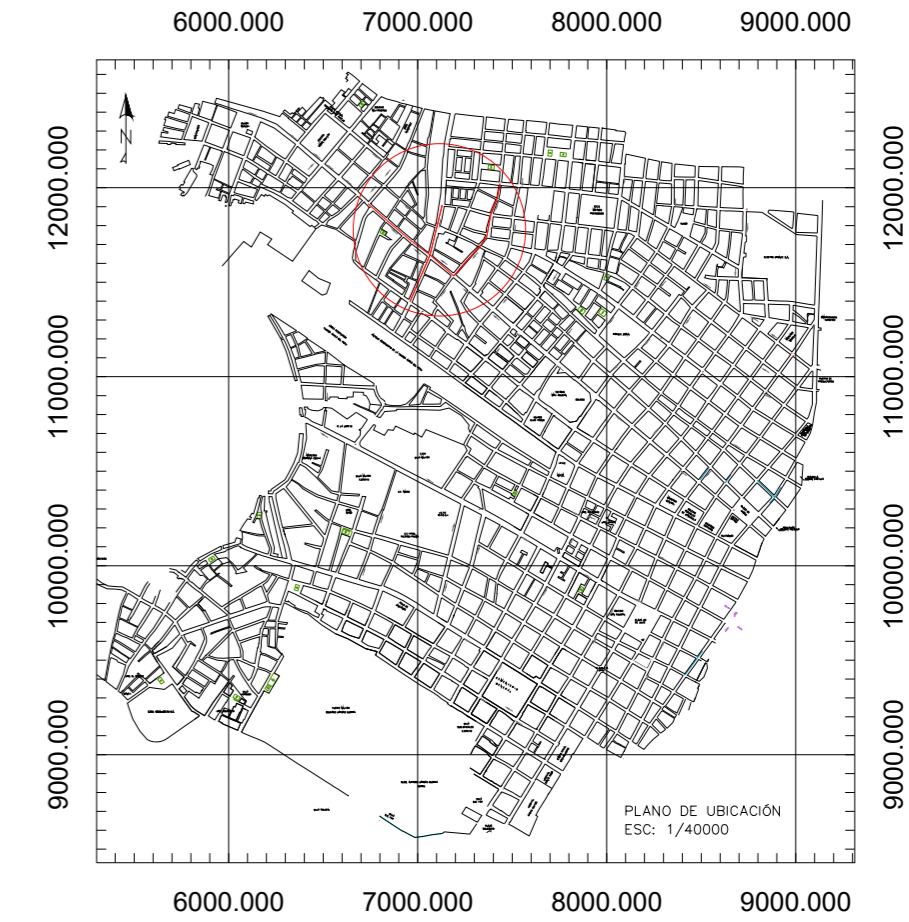
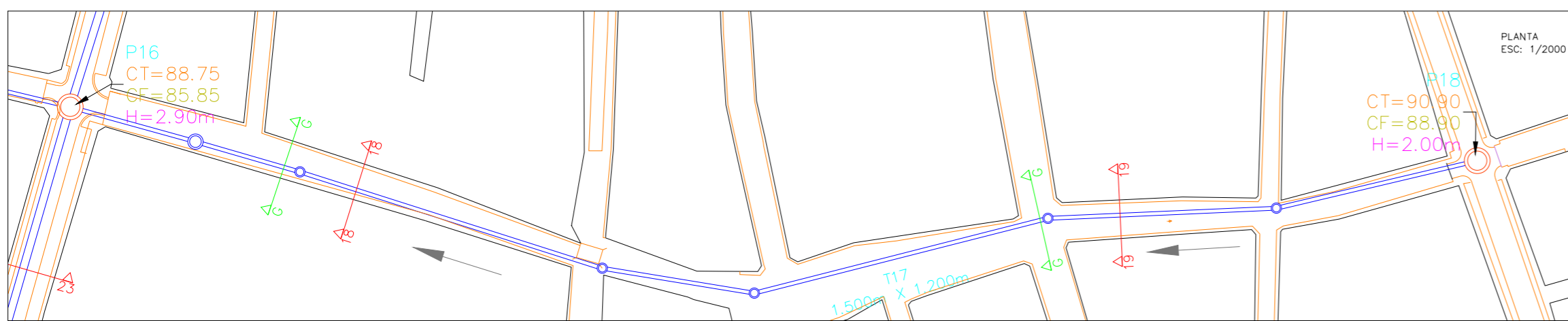
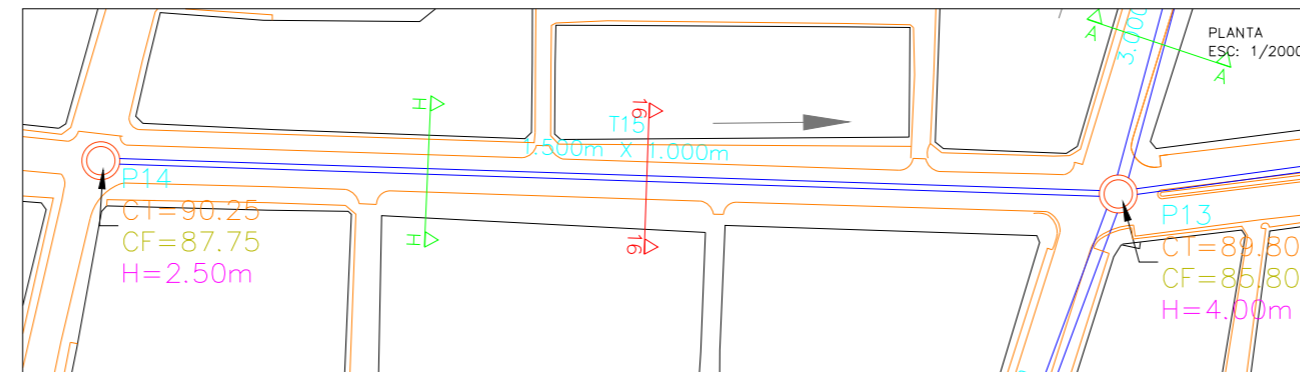
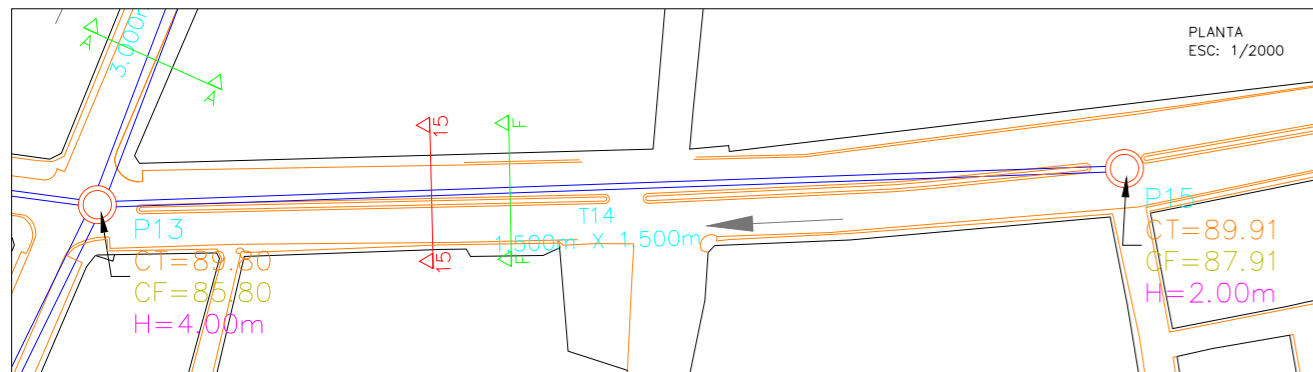
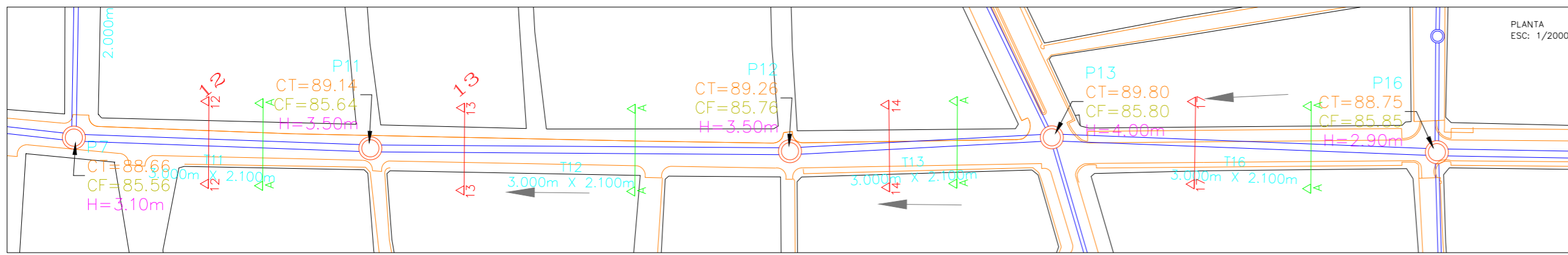
ESCALA: INDICADA

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

LÁMINA:

04

FECHA: MARZO 2020



COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P7	6736.5	11916.0
P11	6833.0	11830.0
P12	6973.1	11712.5
P13	7064.9	11644.5
P14	6958.4	11397.2
P15	7129.4	11908.6
P16	7190.0	11532.6
P17	7076.8	11313.7
P18	7435.3	12022.1

UNIVERSIDAD PRIVADA
ANTENOR ORREGO

SISTEMA DE DRENaje
PLUVIAL URBANO PROPUESTO

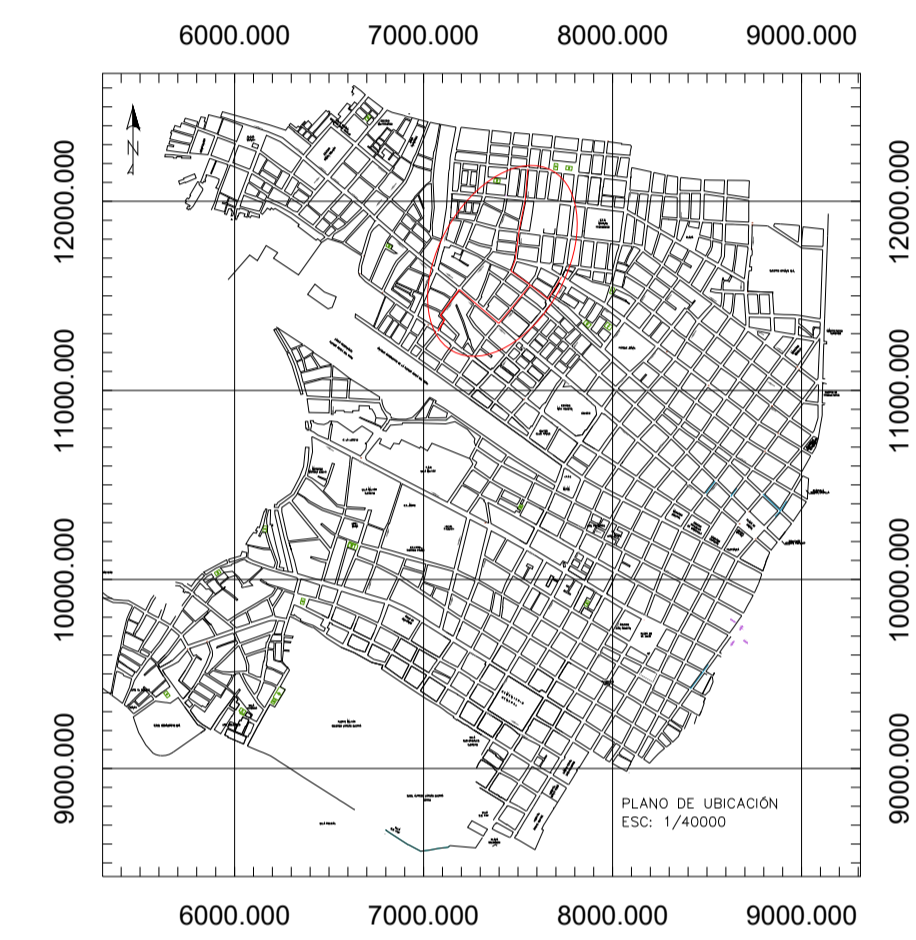
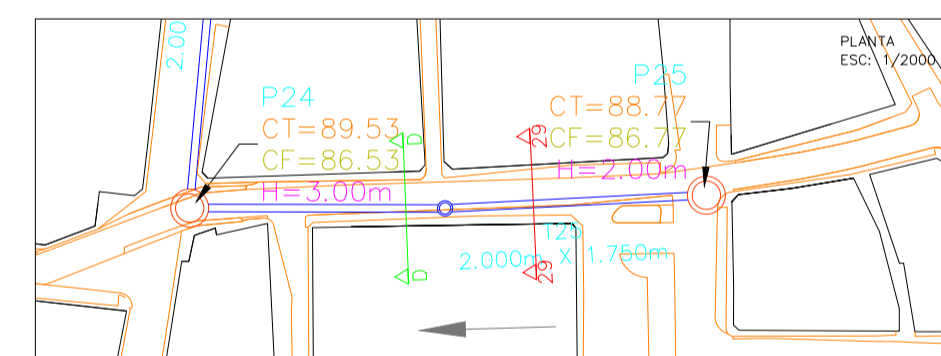
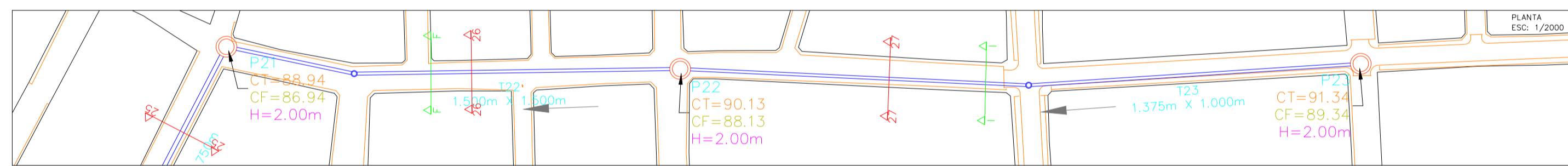
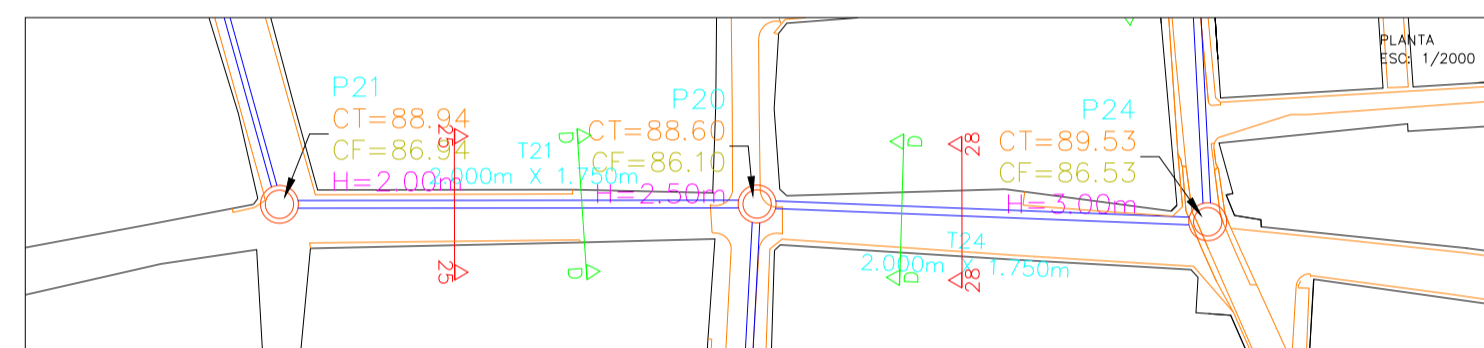
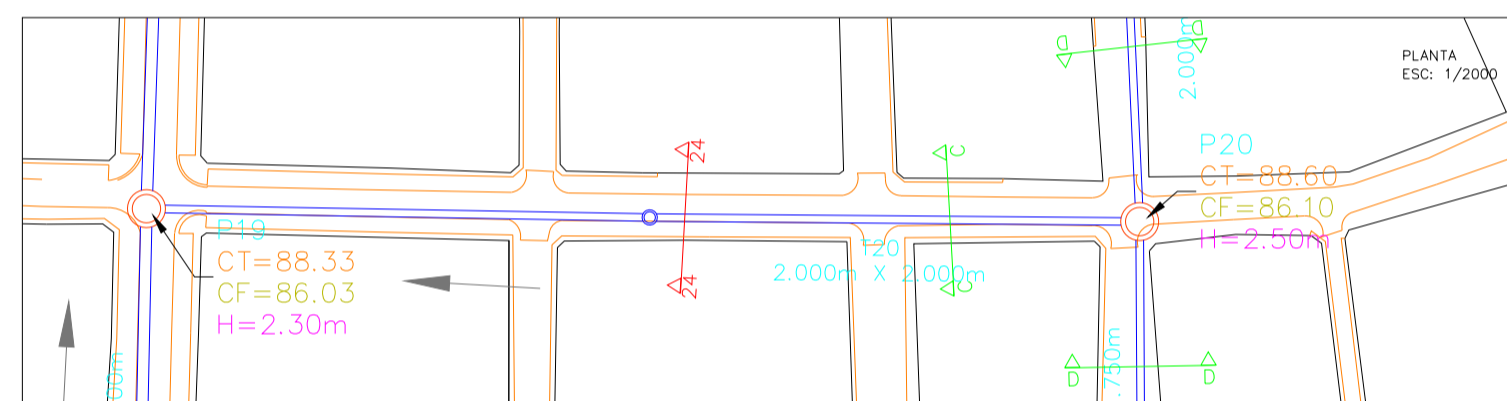
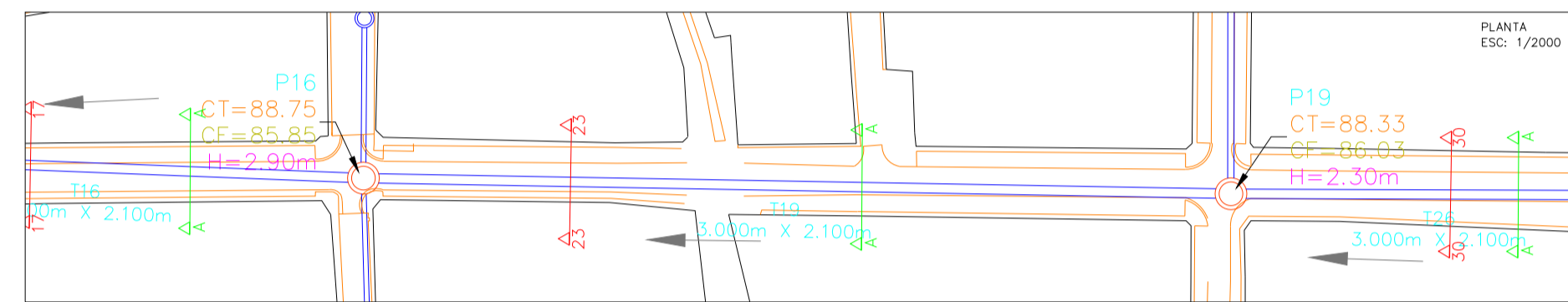
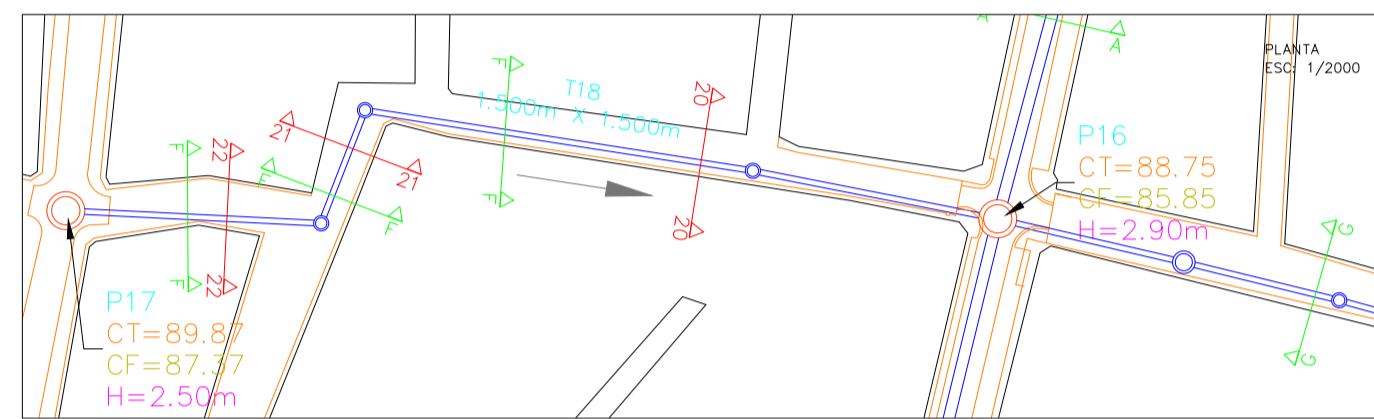
AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

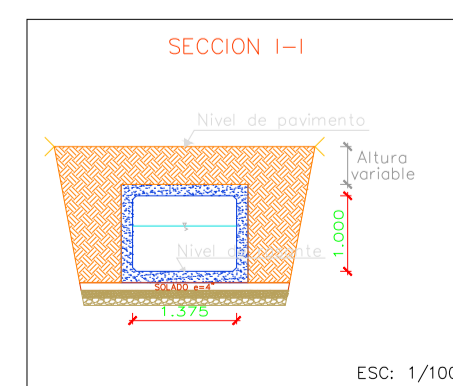
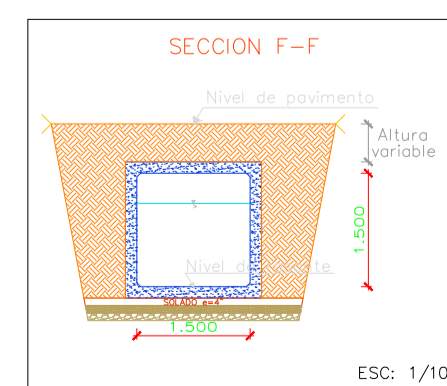
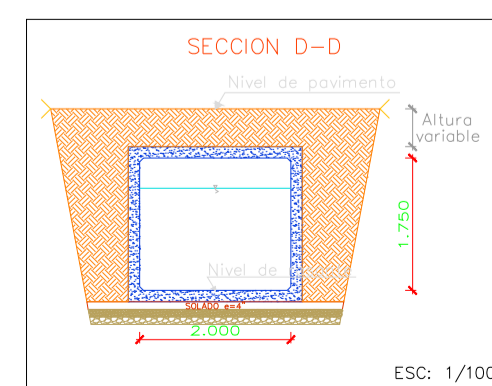
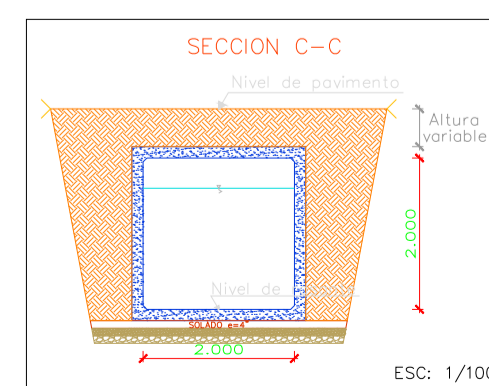
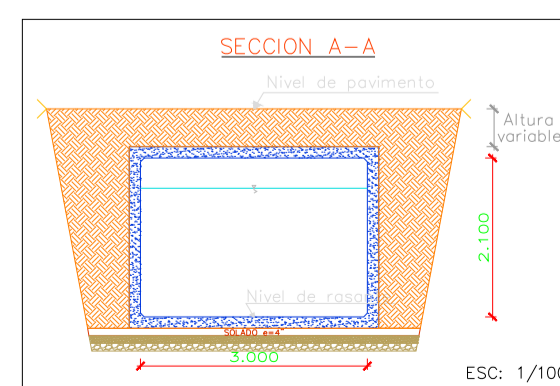
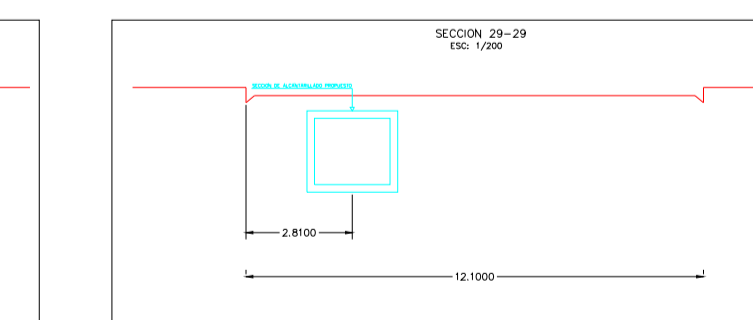
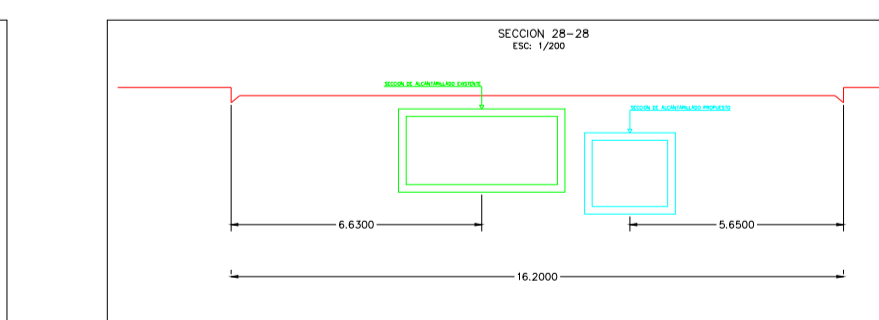
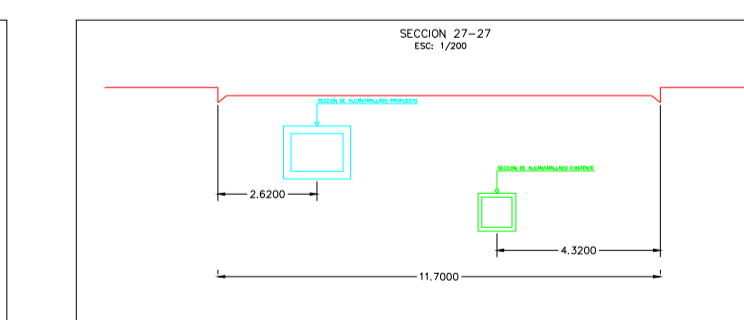
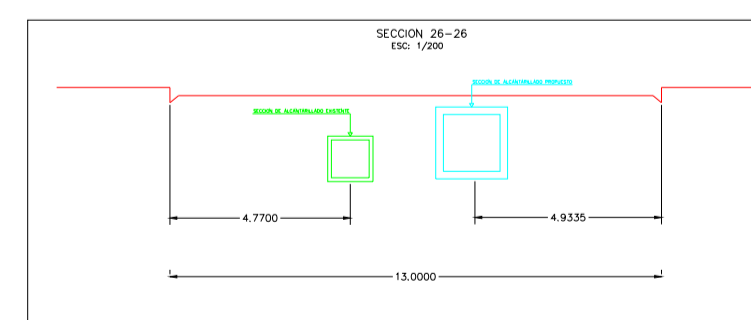
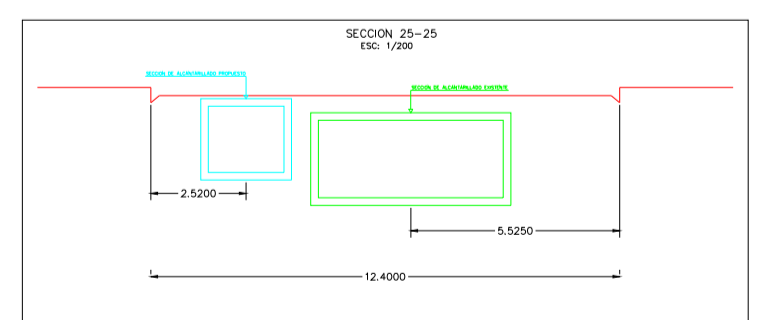
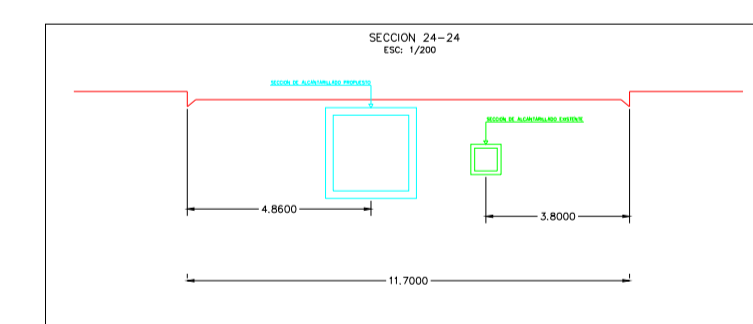
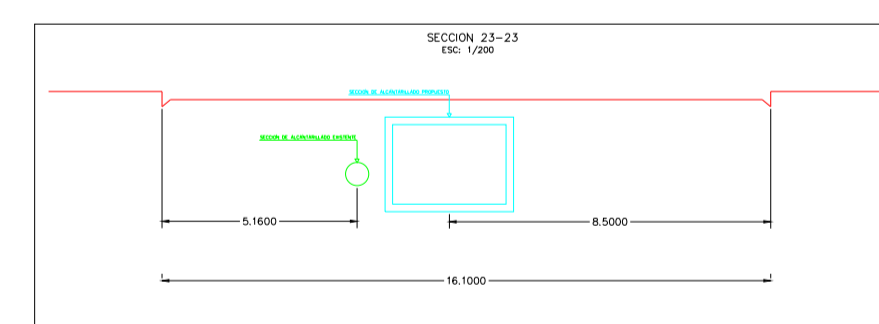
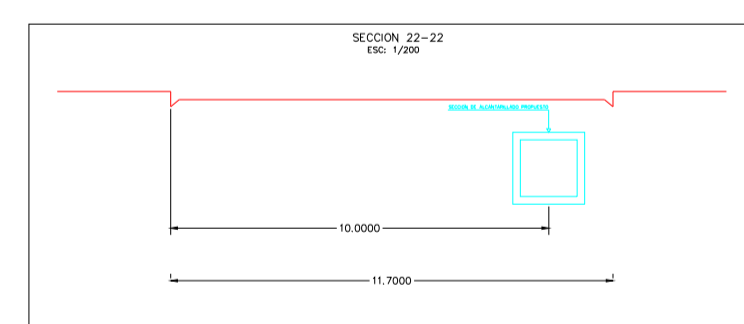
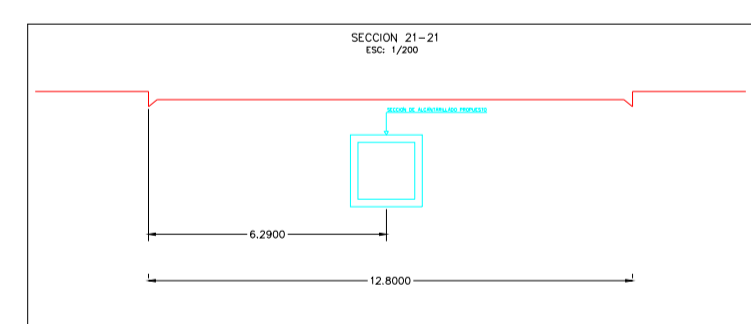
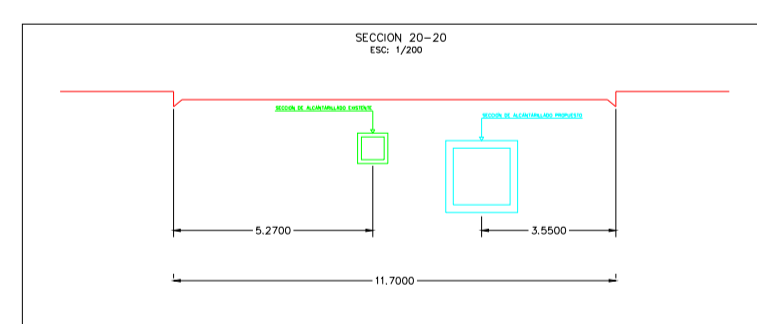
ESCALA: INDICADA

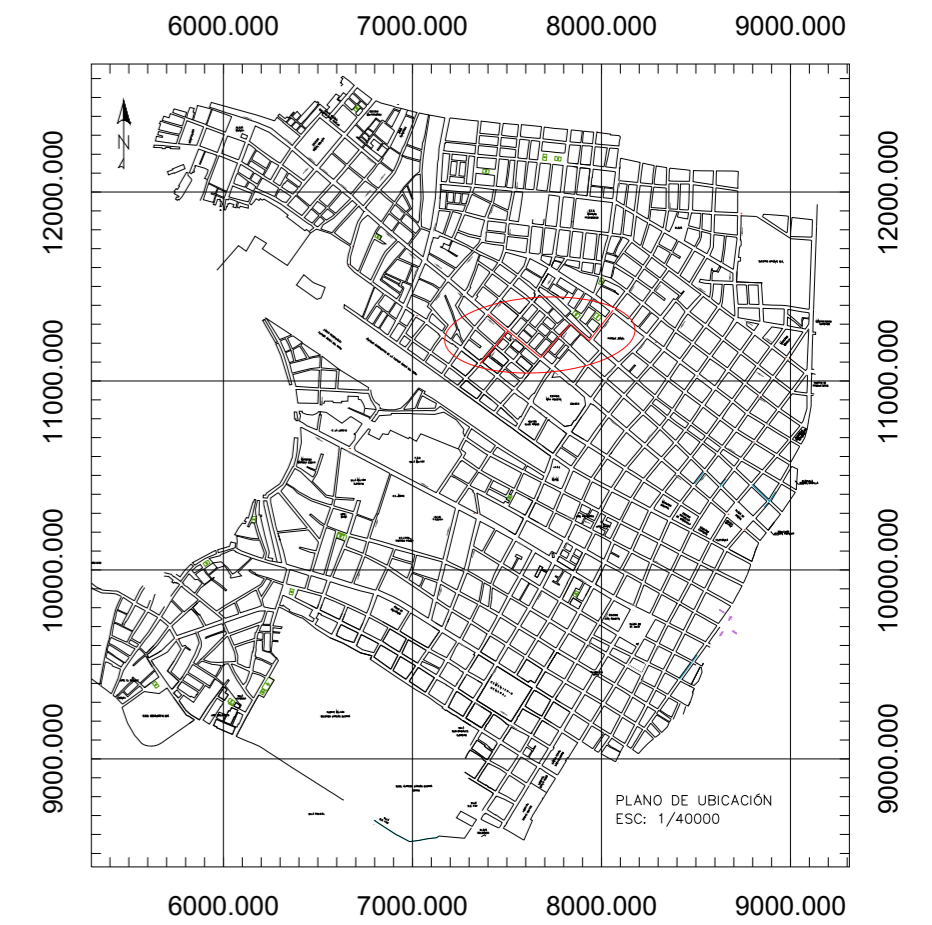
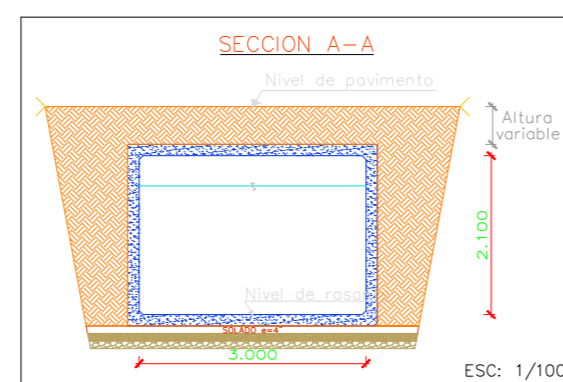
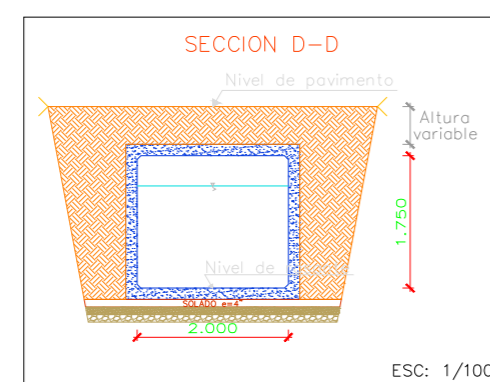
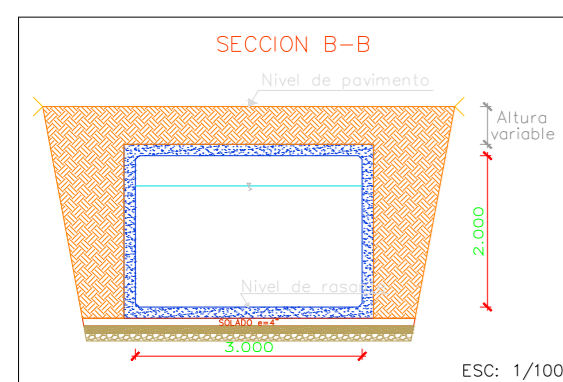
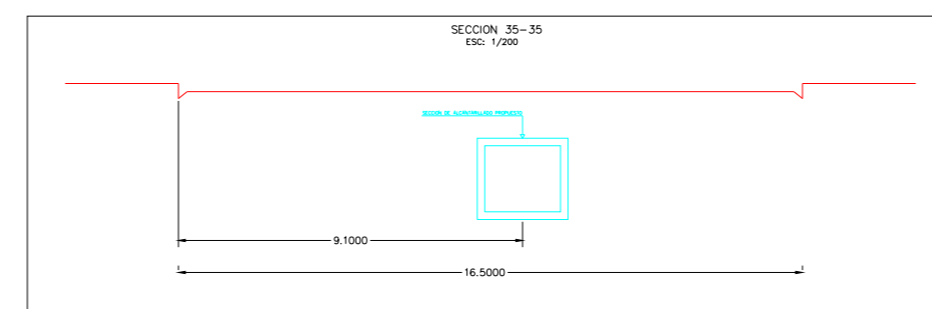
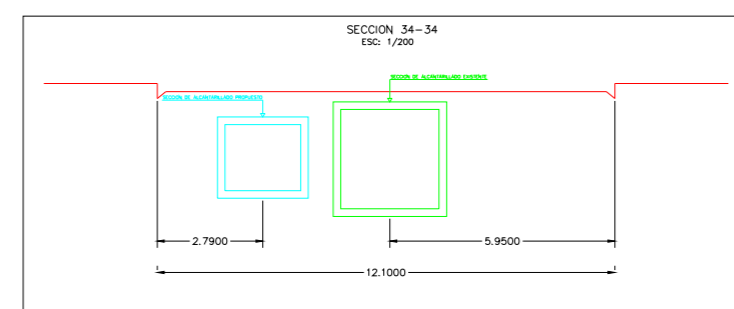
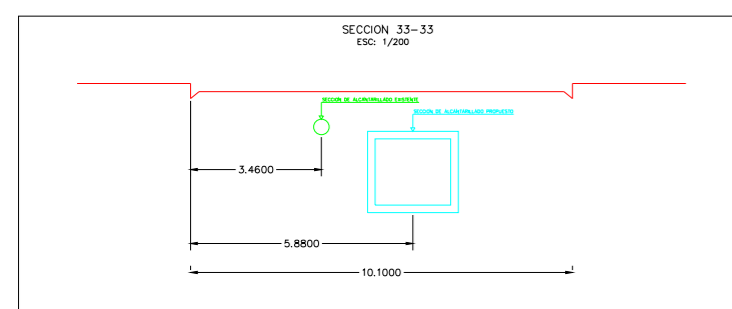
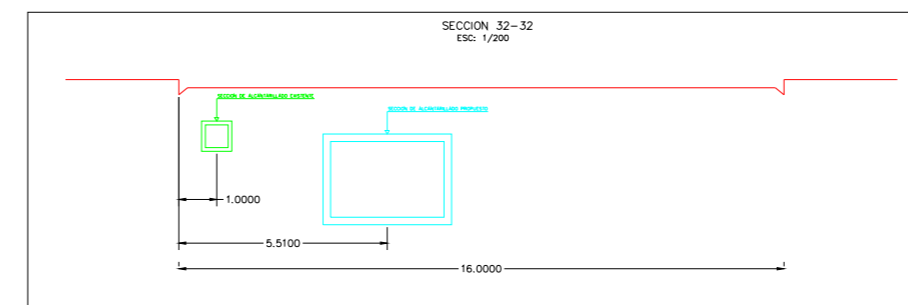
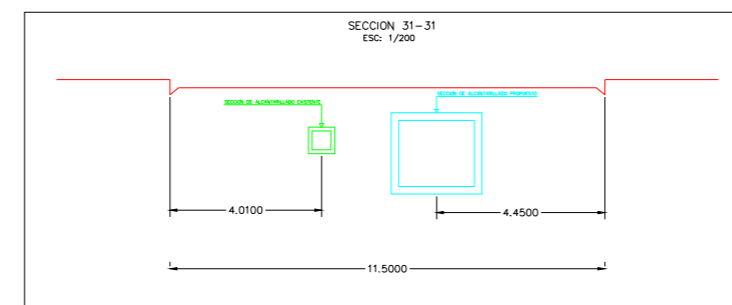
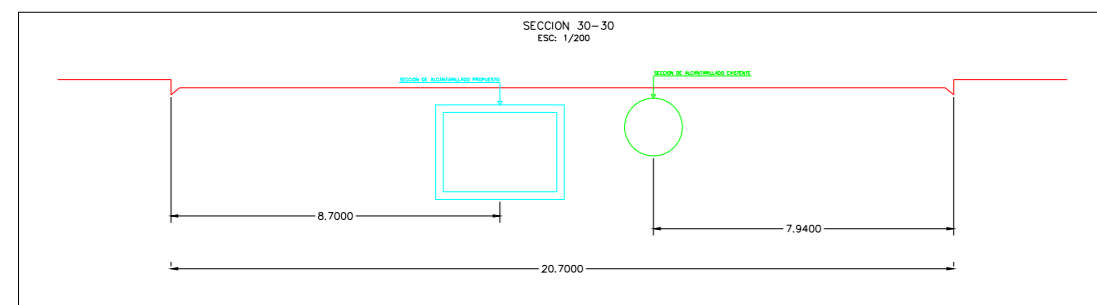
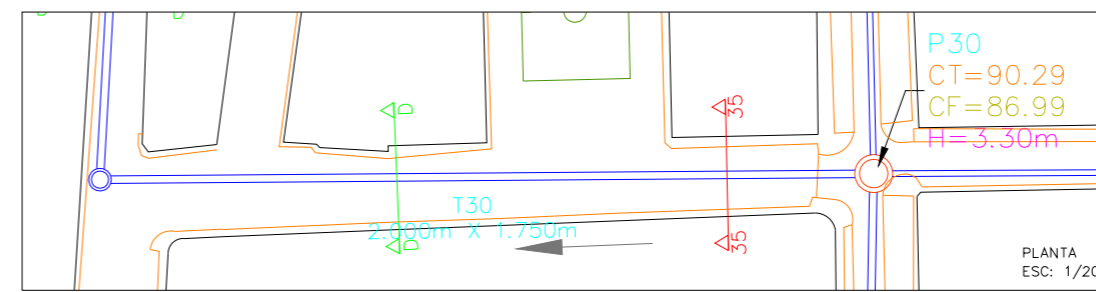
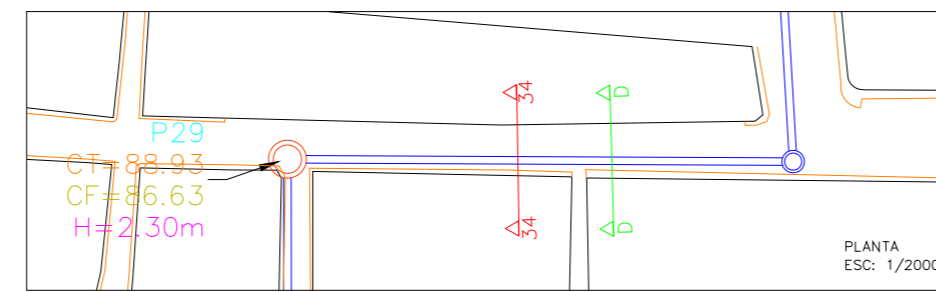
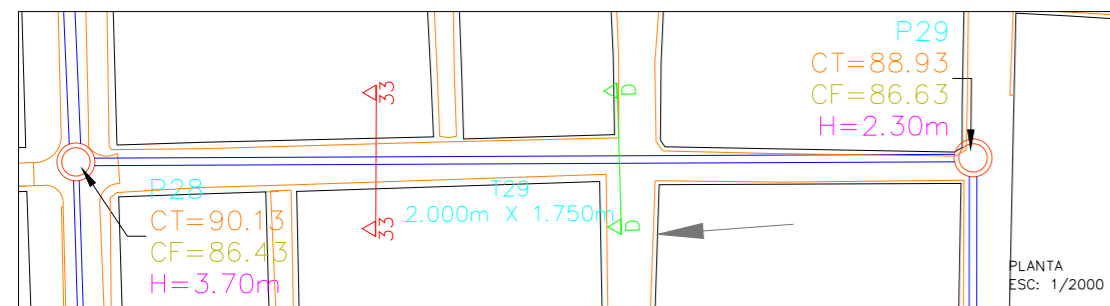
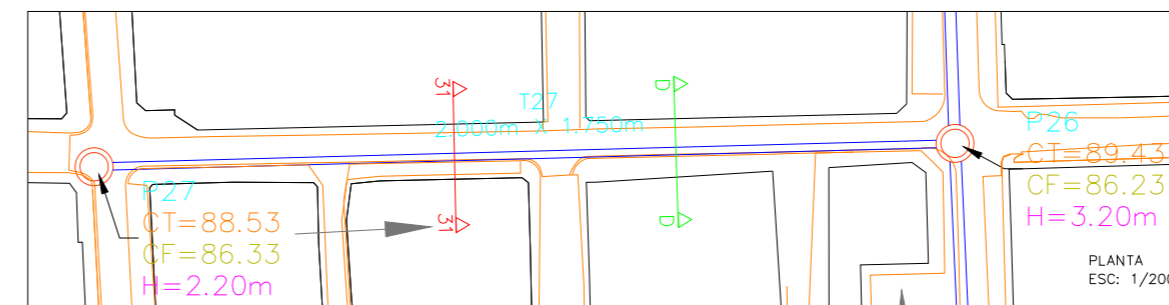
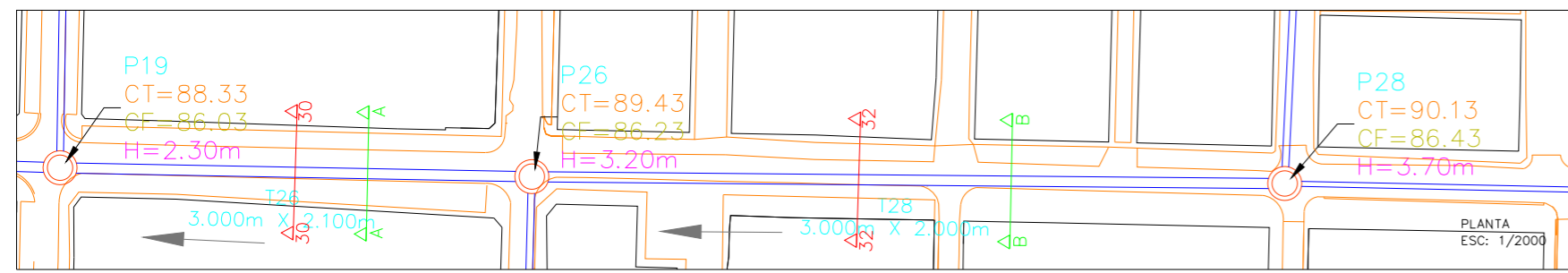
LÁMINA:
05

FECHA: MARZO 2020



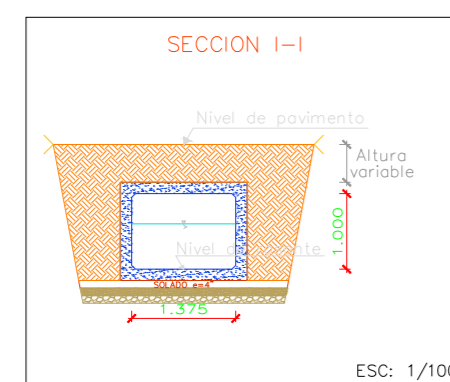
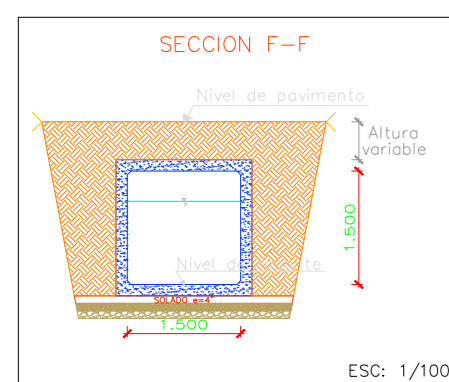
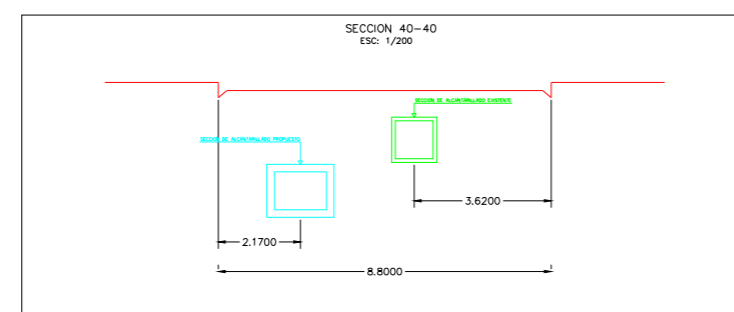
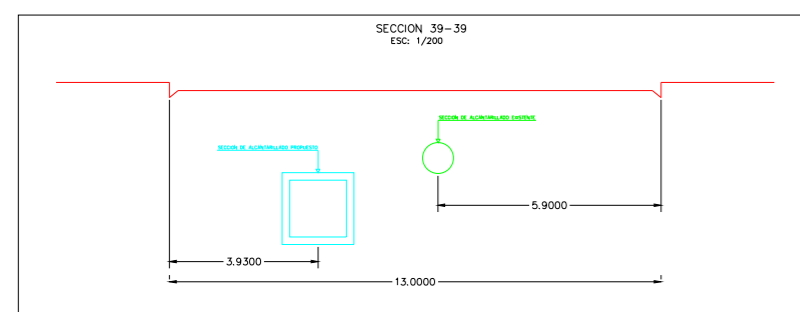
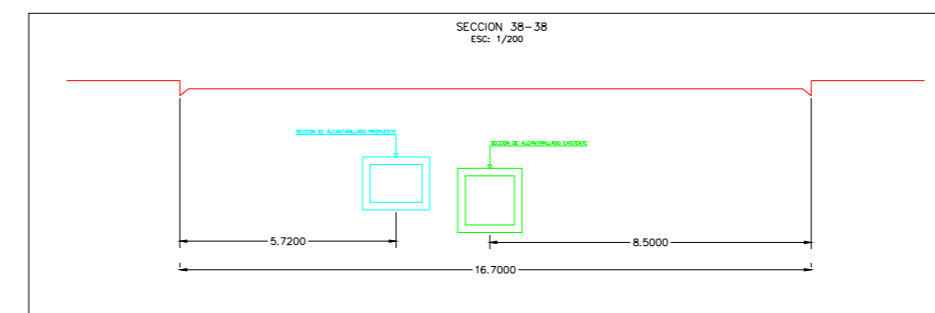
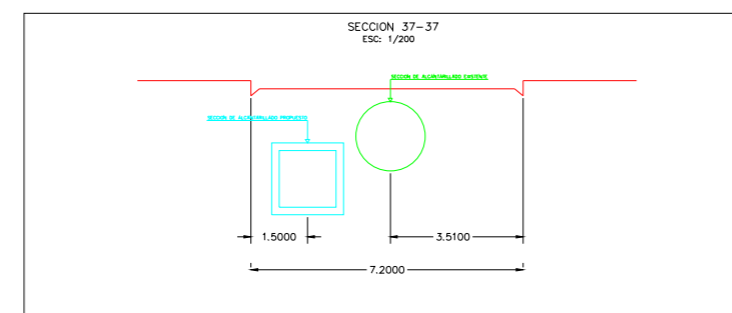
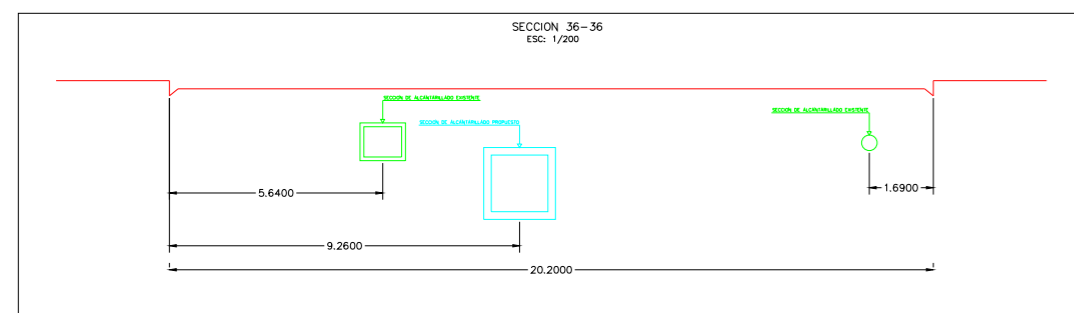
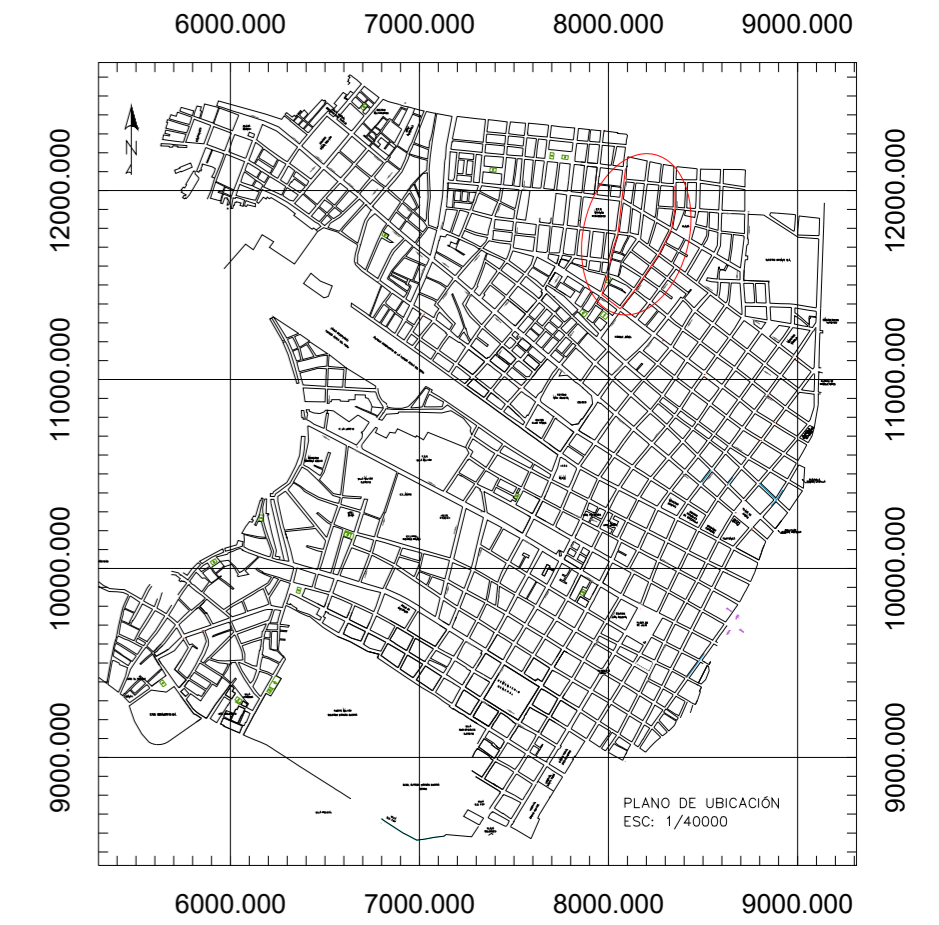
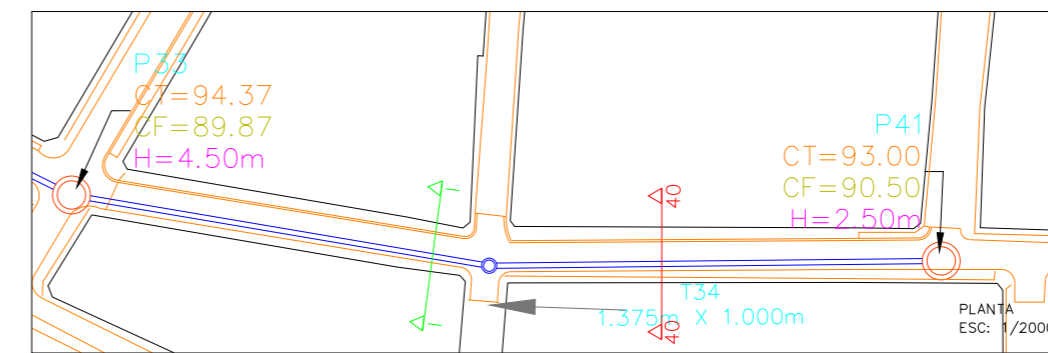
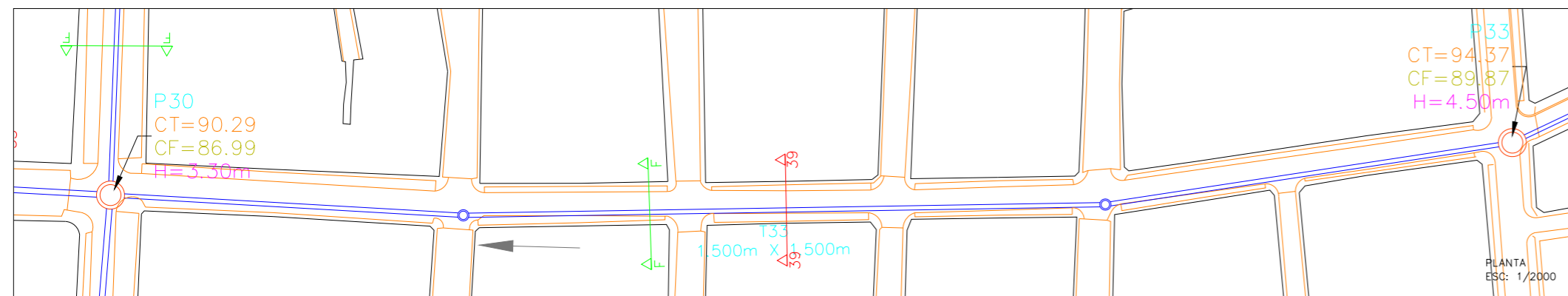
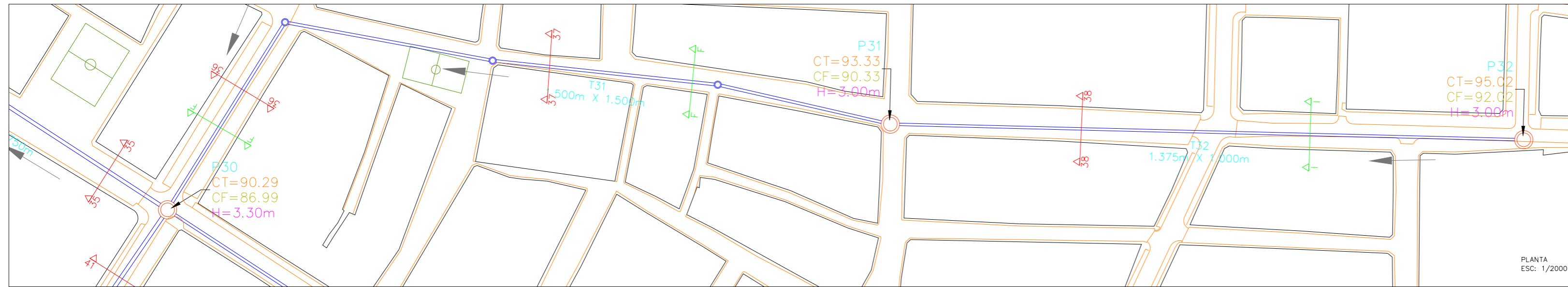
COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P16	7190.0	11532.6
P17	7076.8	11313.7
P19	7398.5	11354.1
P20	7565.1	11557.3
P21	7462.8	11631.5
P22	7505.9	11846.7
P23	7552.1	12172.2
P24	7658.7	11483.4
P25	7730.3	11599.8





COORDENADAS

NOMBRE:	ESTE	NORTE
P19	7398.5	11354.1
P26	7505.7	11264.9
P27	7358.7	11090.9
P28	7678.1	11124.2
P29	7835.0	11302.3
P30	8061.1	11374.3



COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P30	8061.1	11374.3
P31	8049.6	11772.5
P32	8089.0	12117.0
P33	8333.2	11796.1
P41	8350.6	12026.1

UNIVERSIDAD PRIVADA
ANTENOR ORREGO

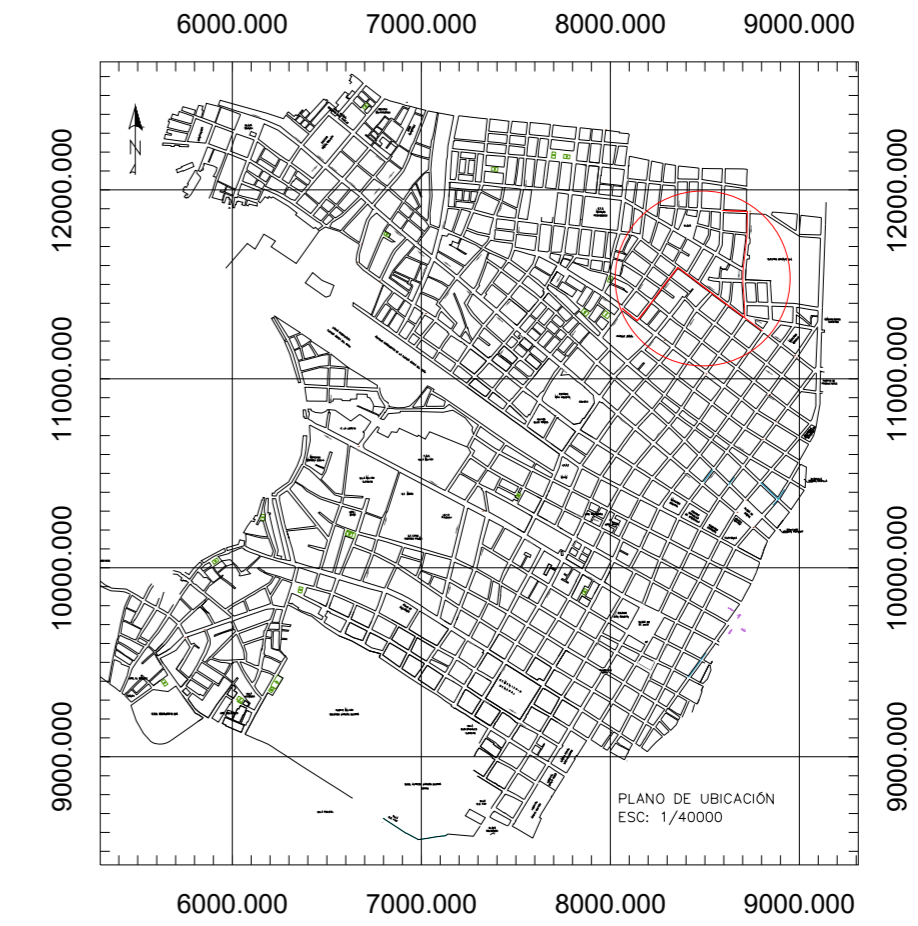
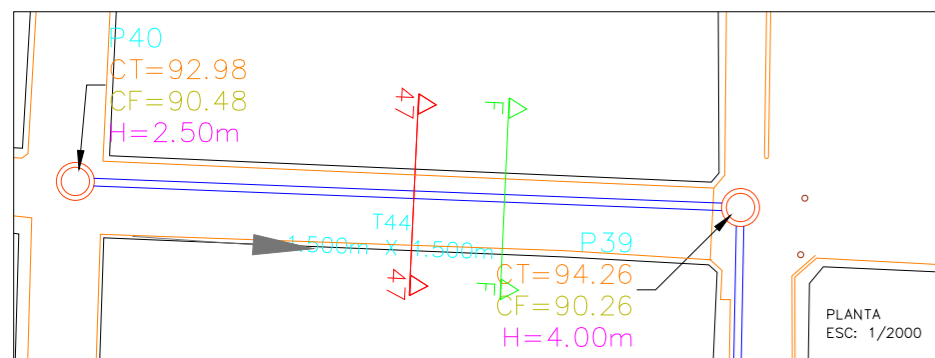
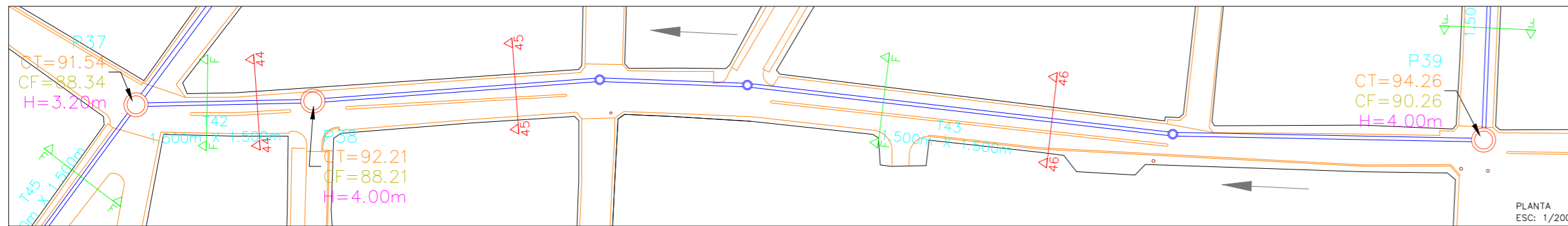
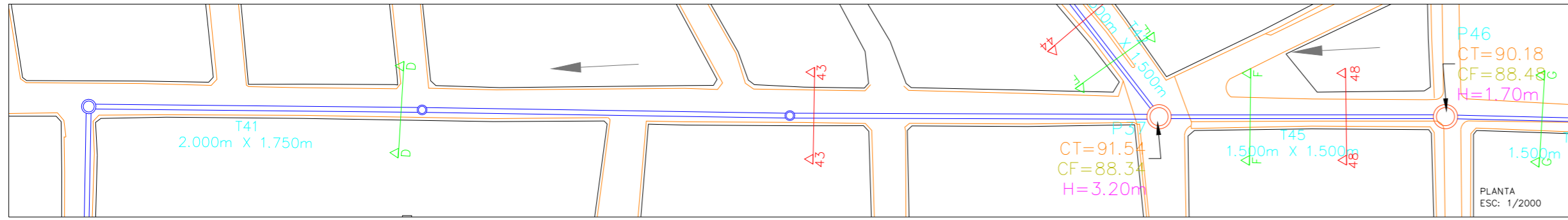
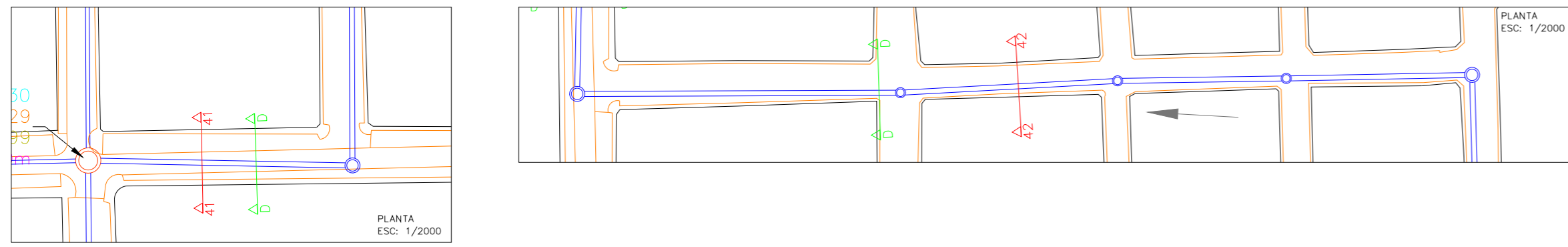
SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL URBANO PROPUESTO

AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

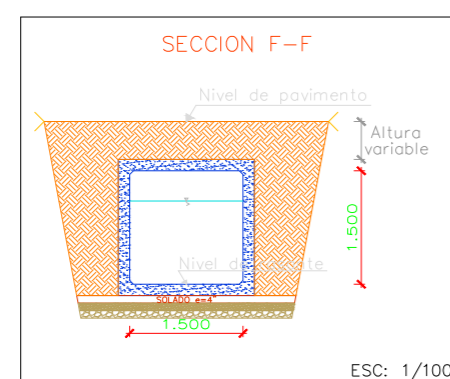
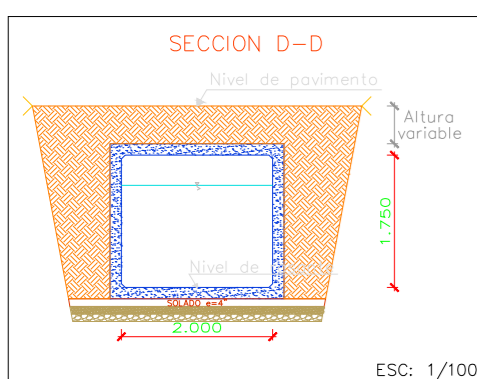
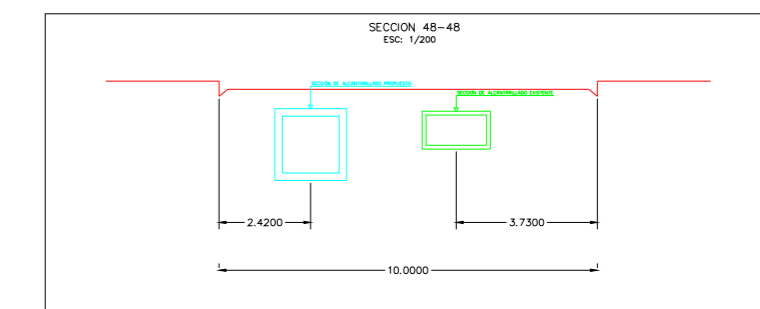
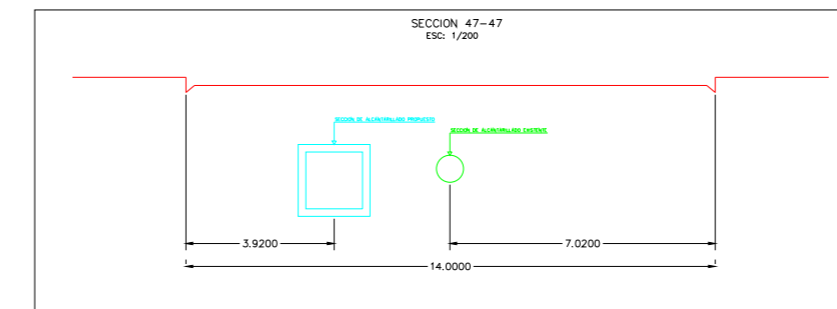
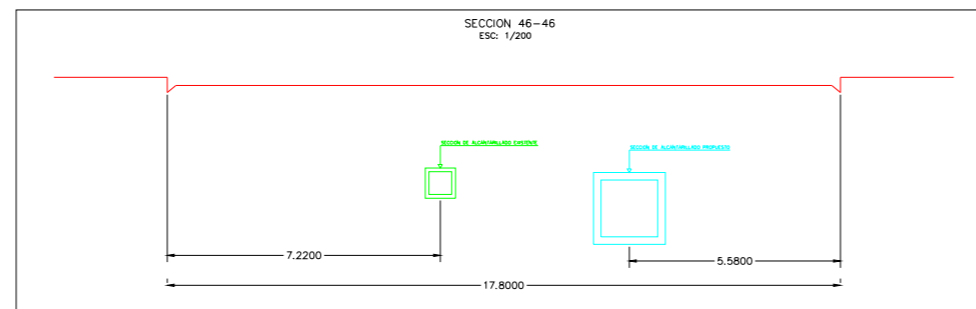
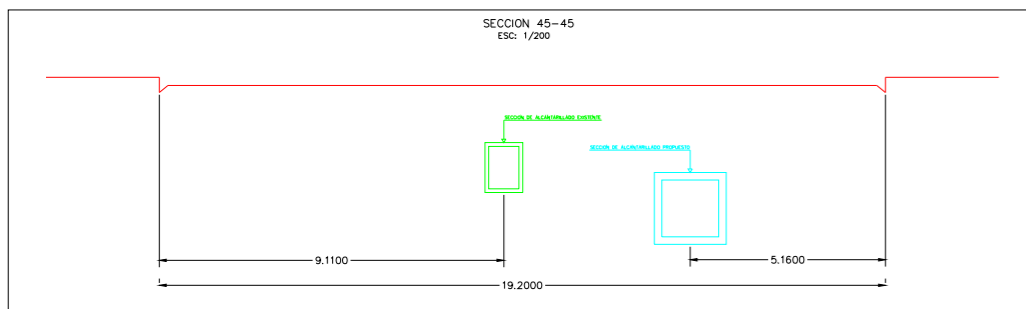
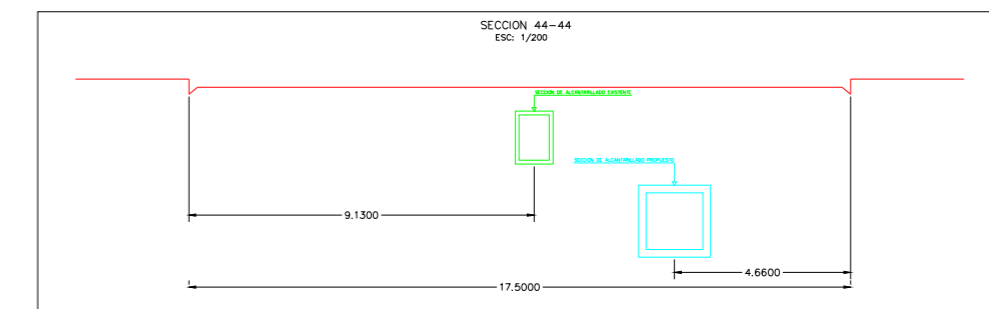
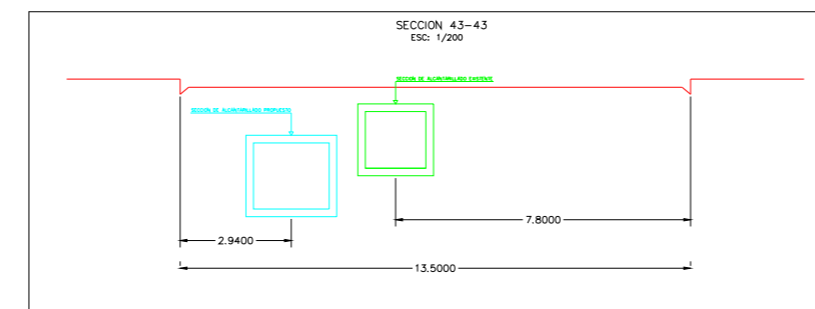
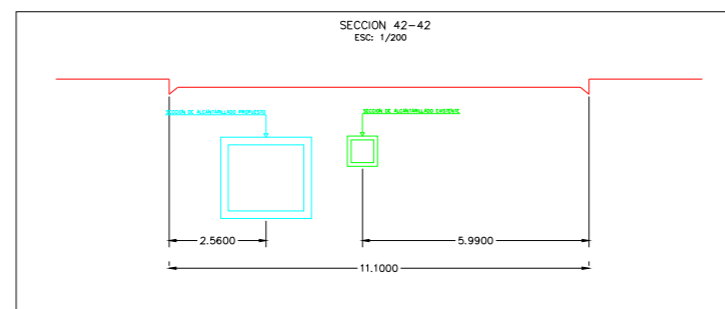
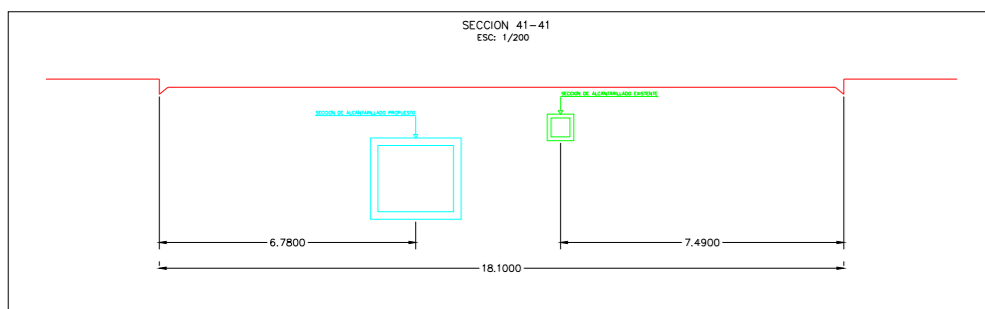
ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

LÁMINA:
08

FECHA: MARZO 2020



COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P30	8061.1	11374.3
P37	8710.1	11323.8
P38	8708.5	11397.5
P39	8724.8	11885.5
P40	8592.9	11890.6
P46	8805.3	11253.5



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
UNIVERSITY PRIVATE ANTONOR ORREGO

SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO PROPUESTO

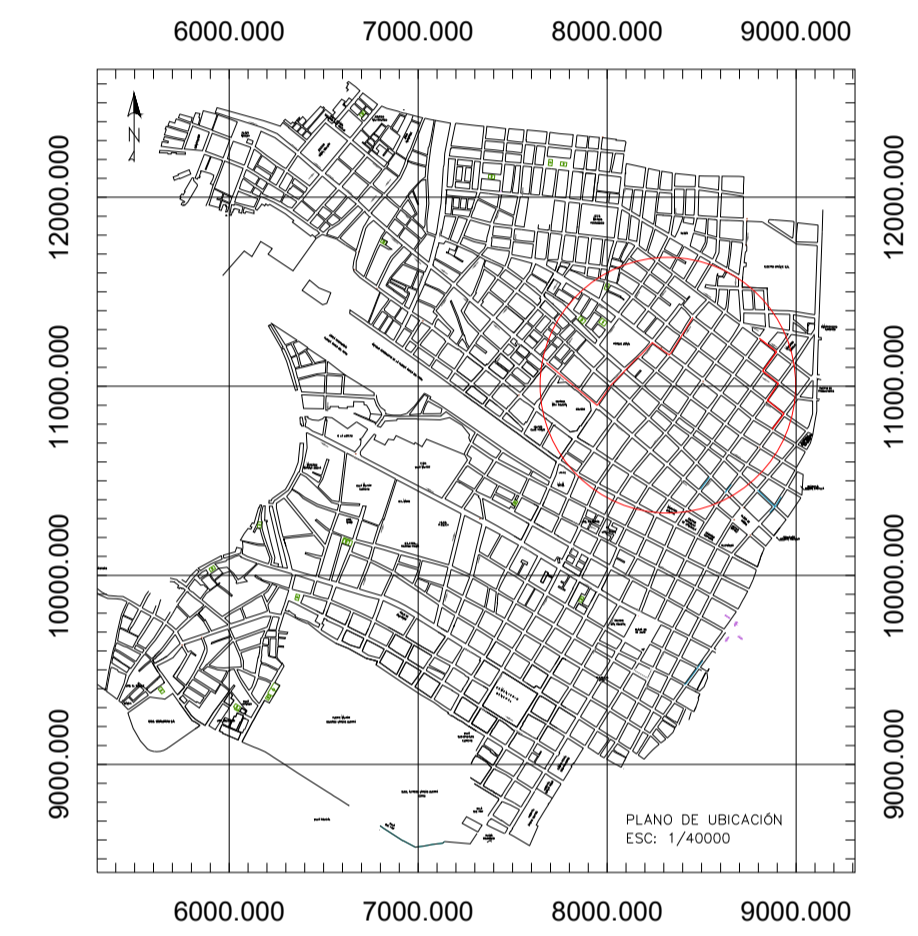
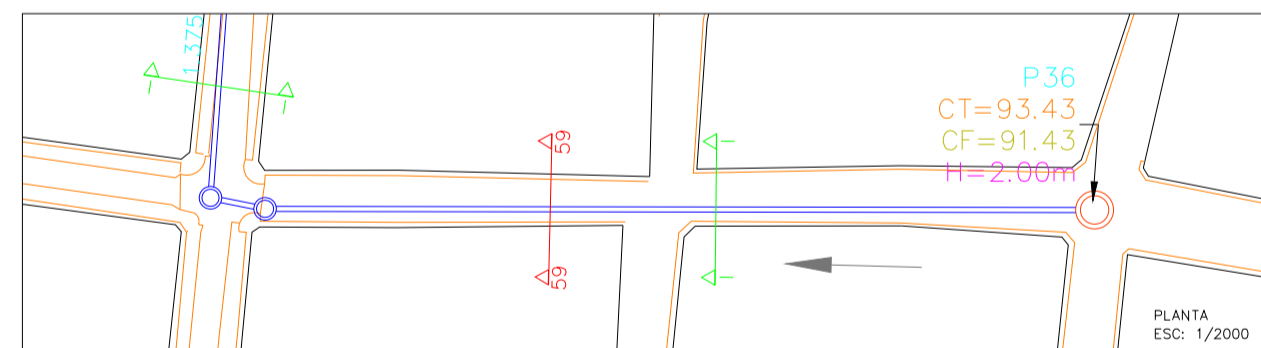
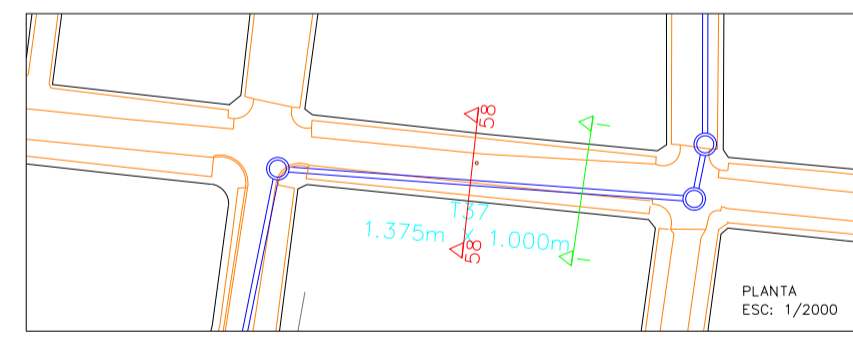
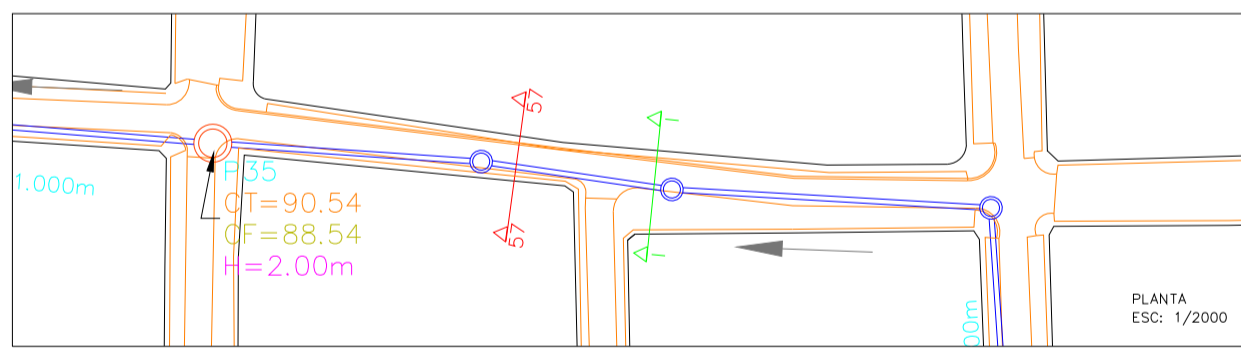
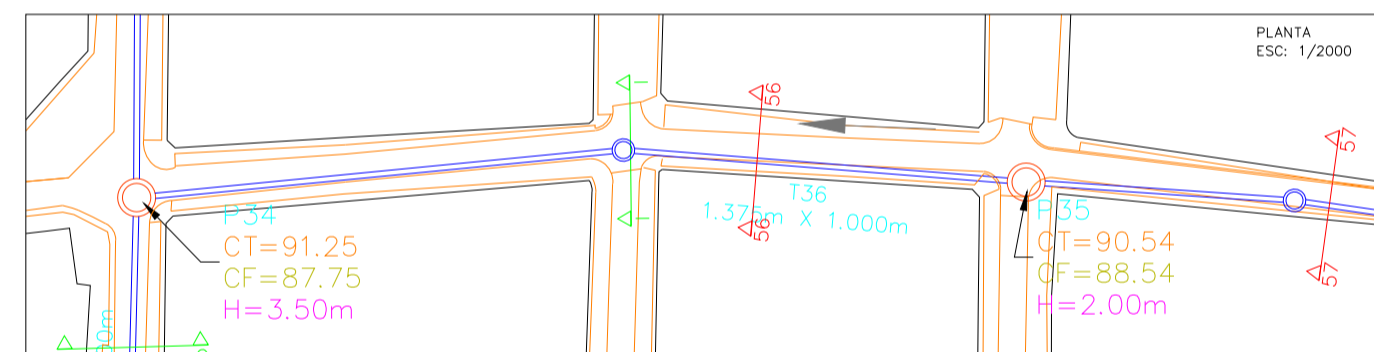
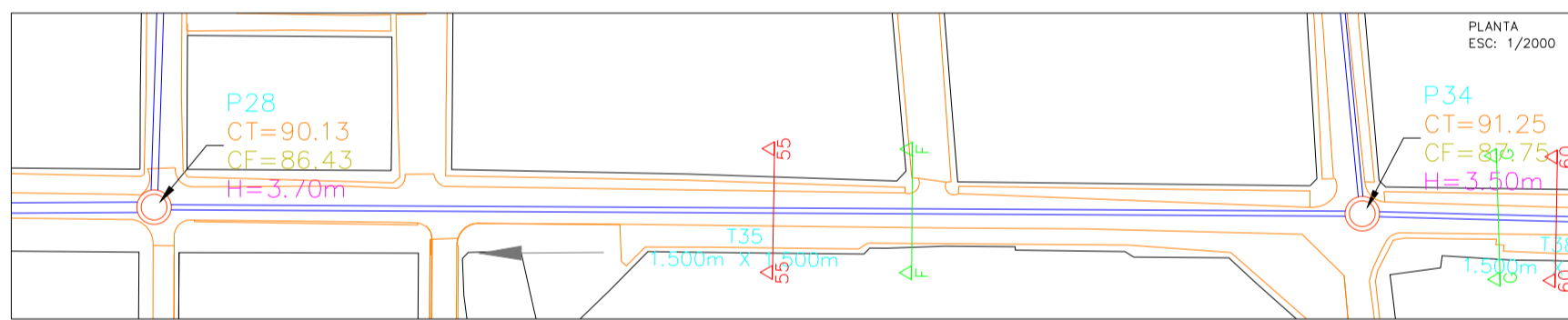
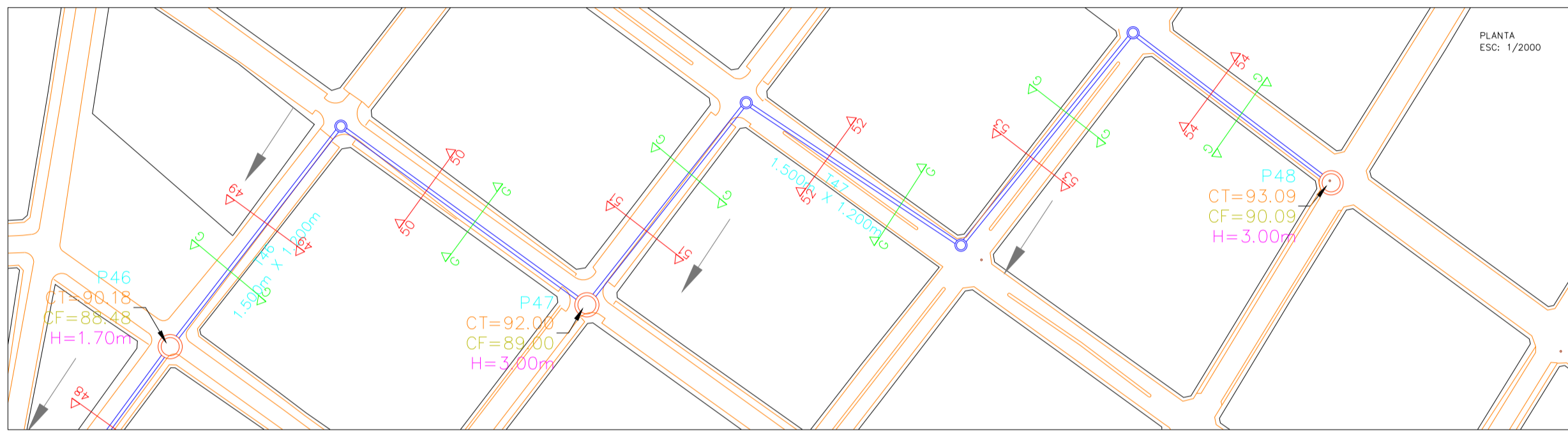
AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

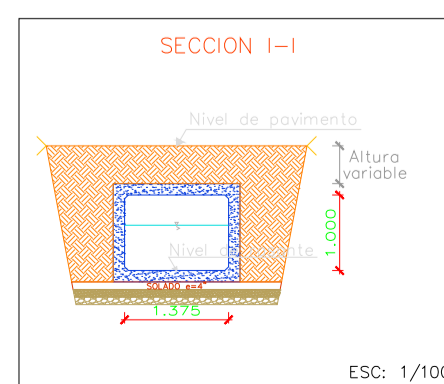
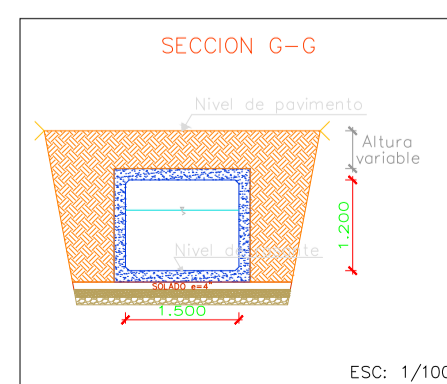
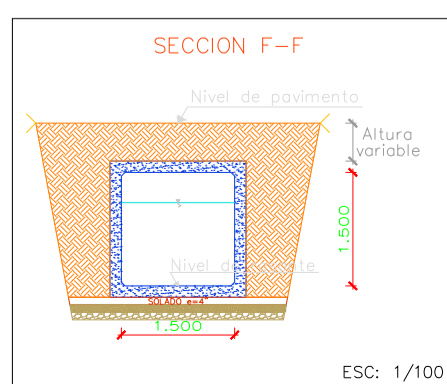
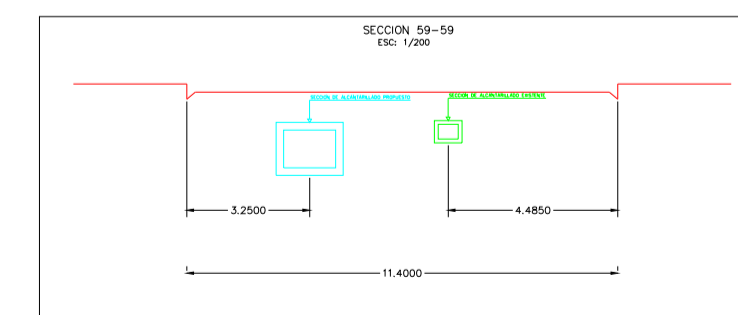
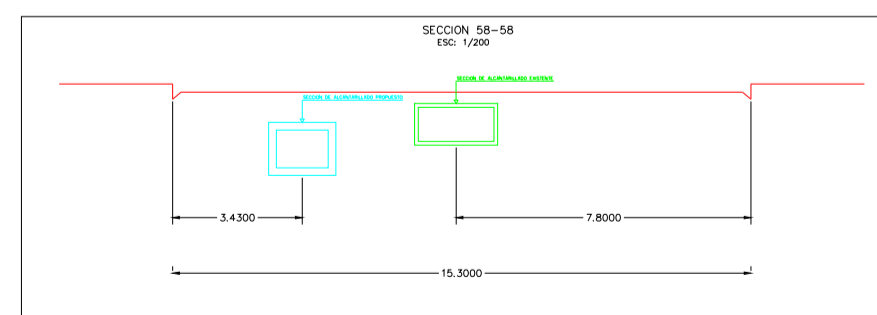
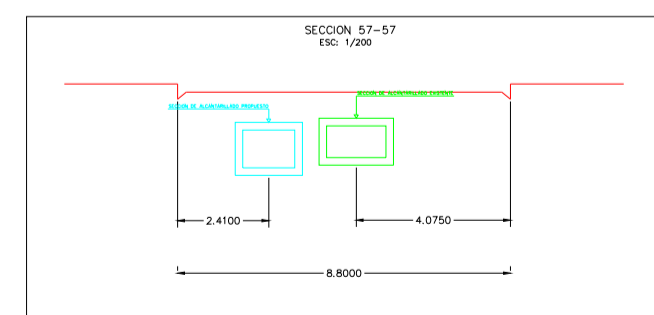
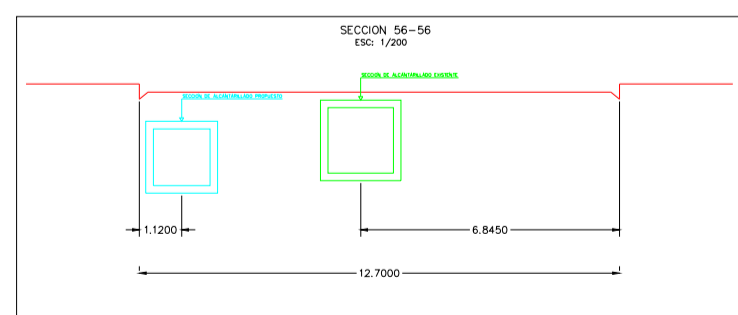
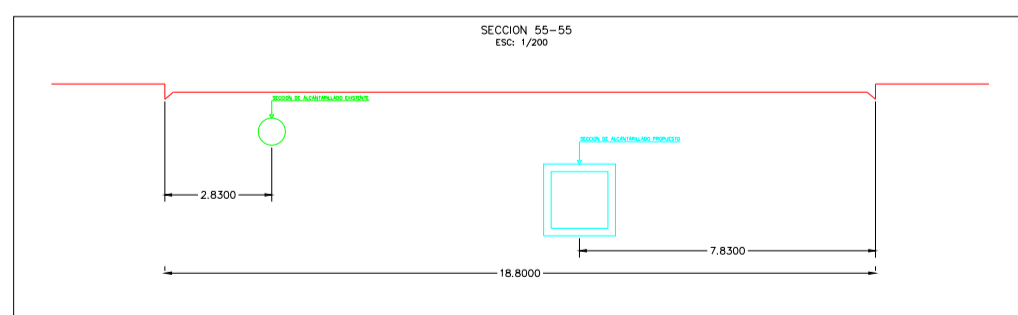
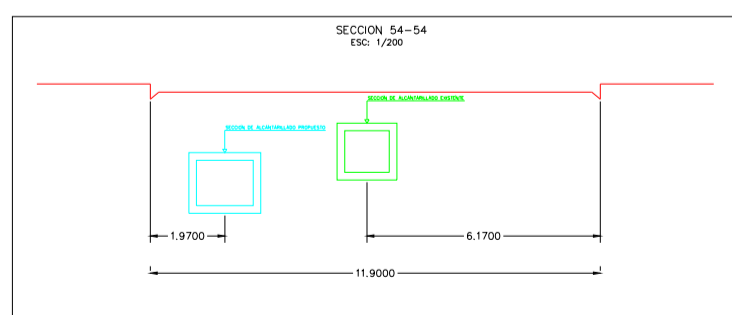
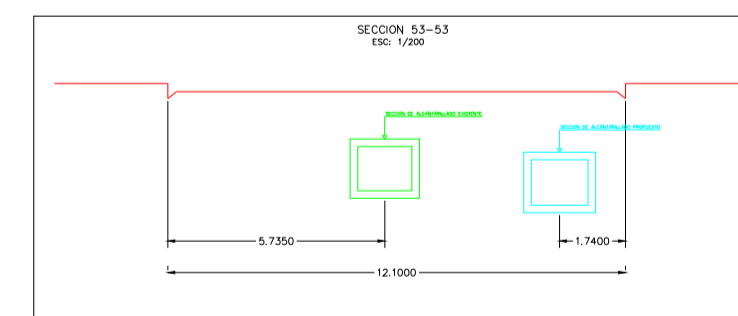
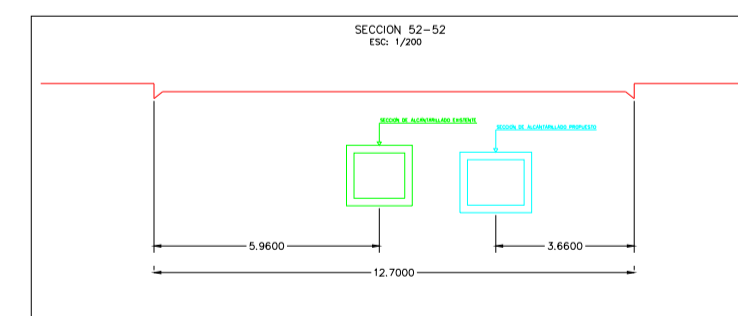
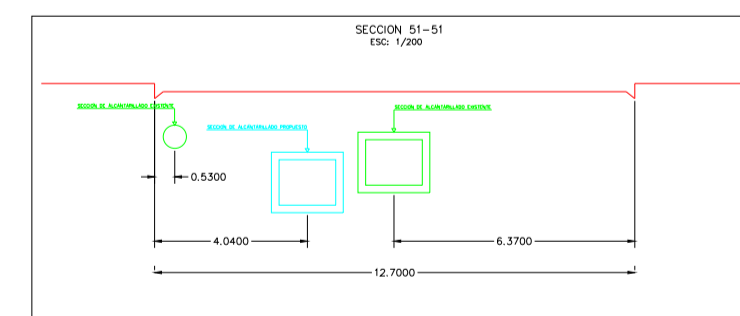
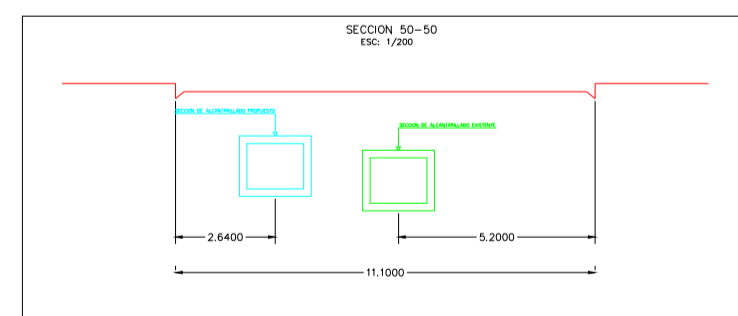
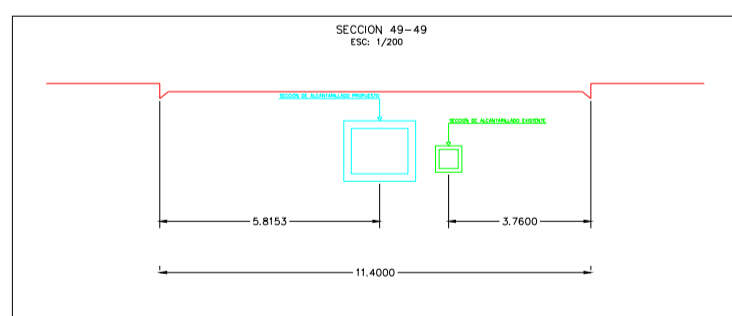
LÁMINA:

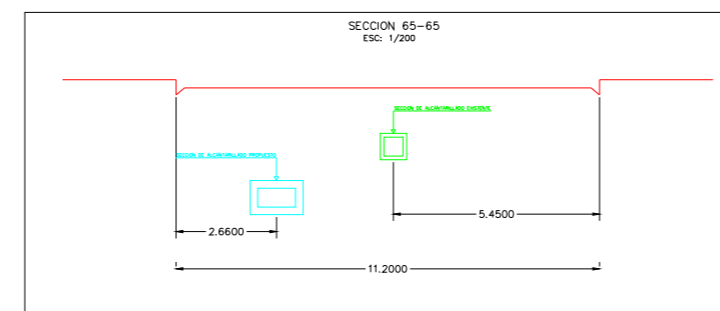
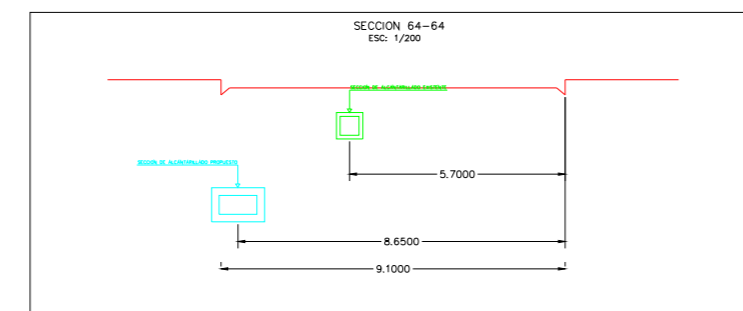
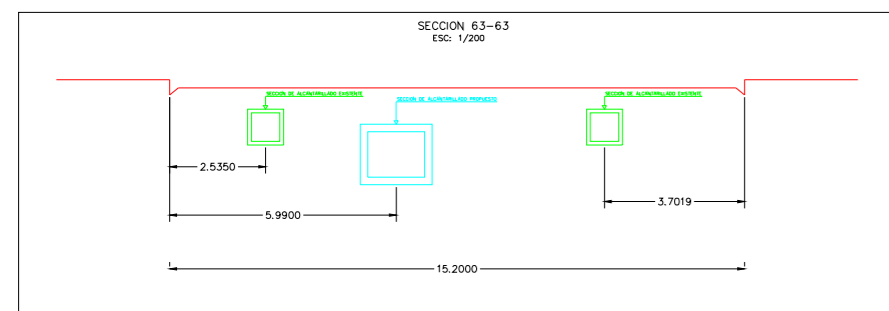
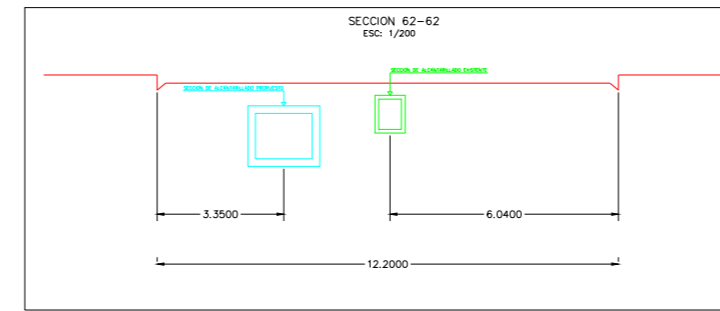
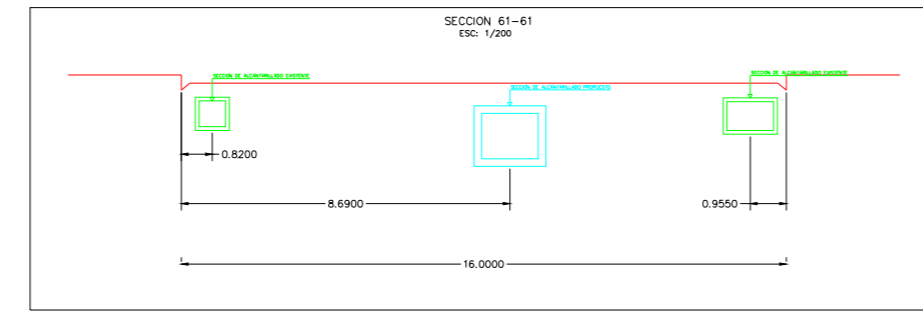
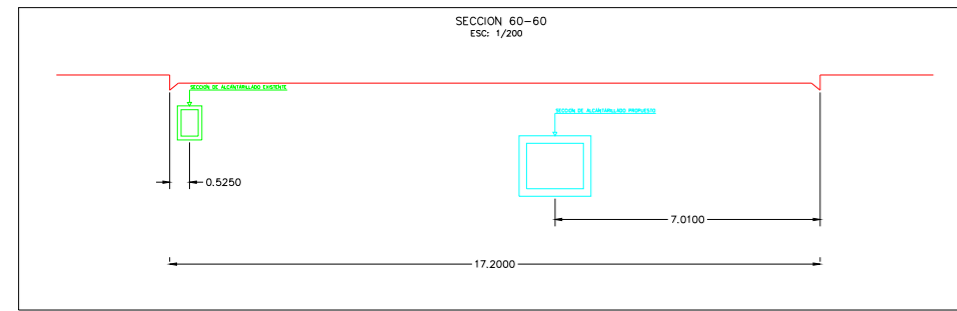
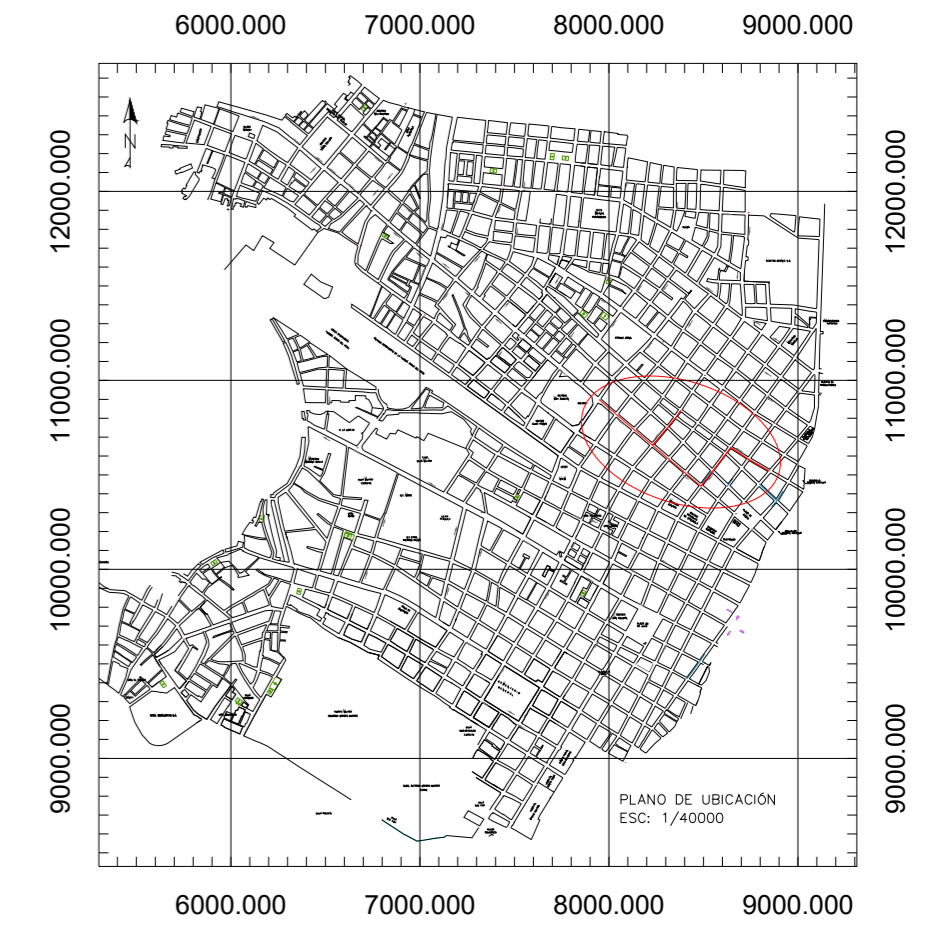
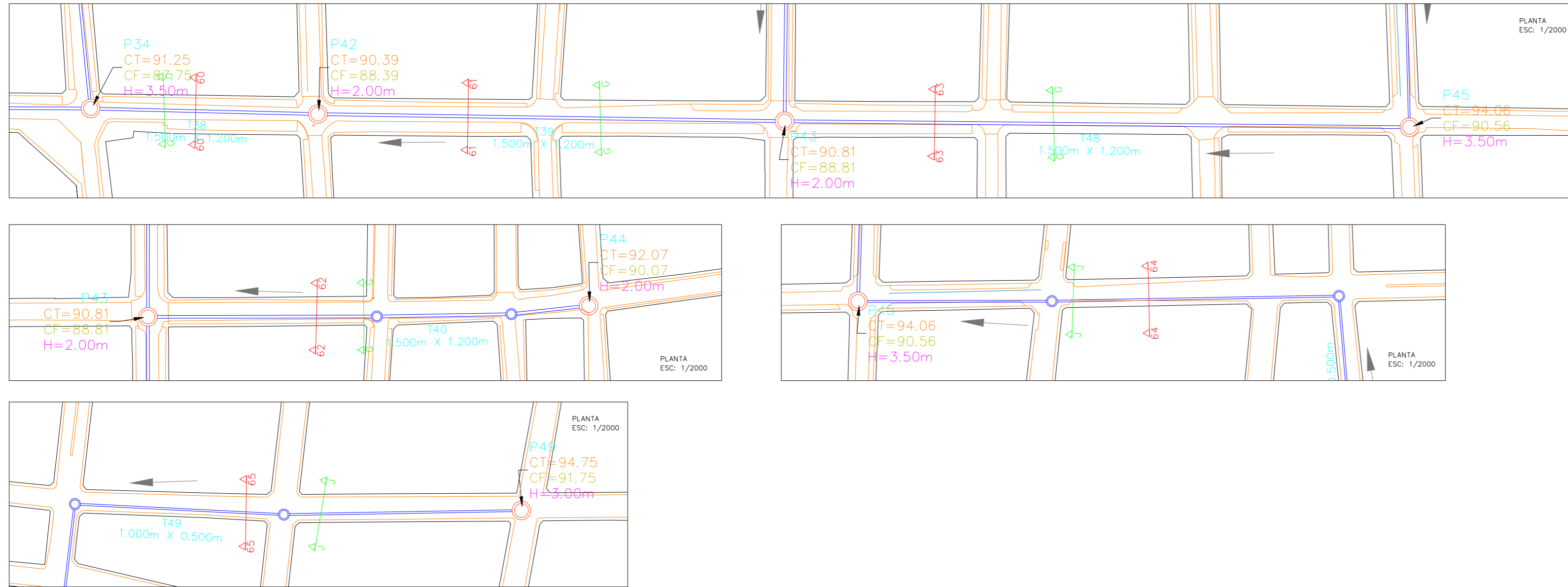
09

FECHA: MARZO 2020

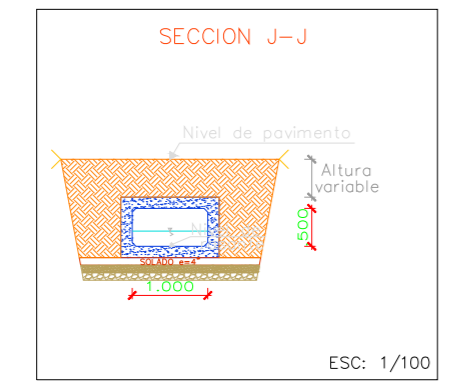
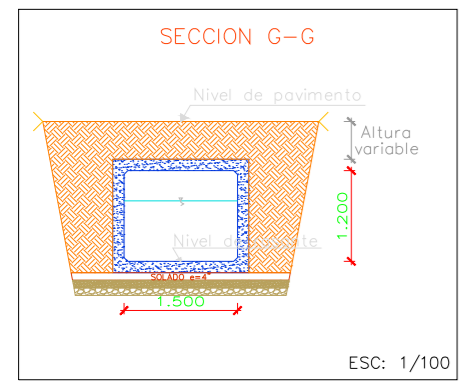


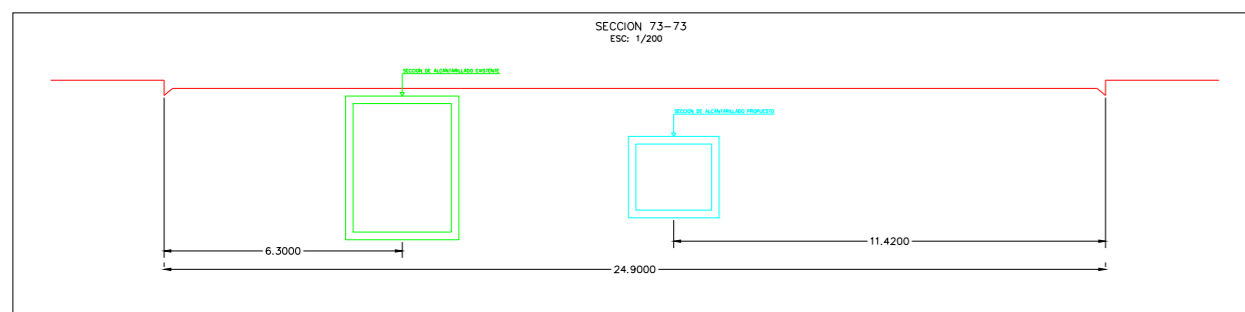
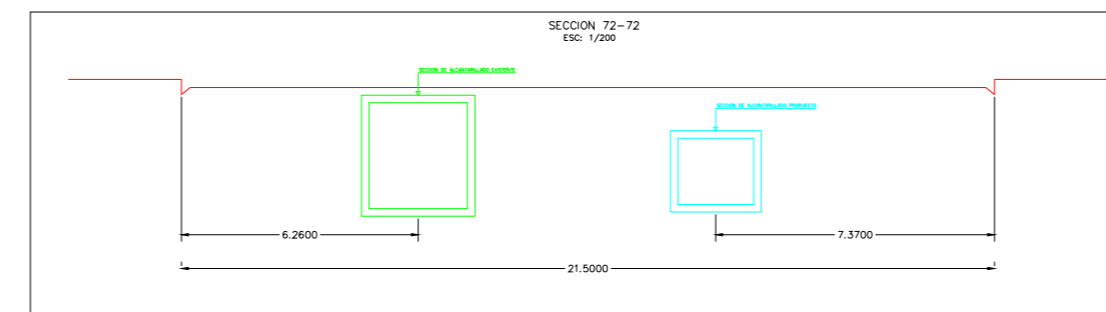
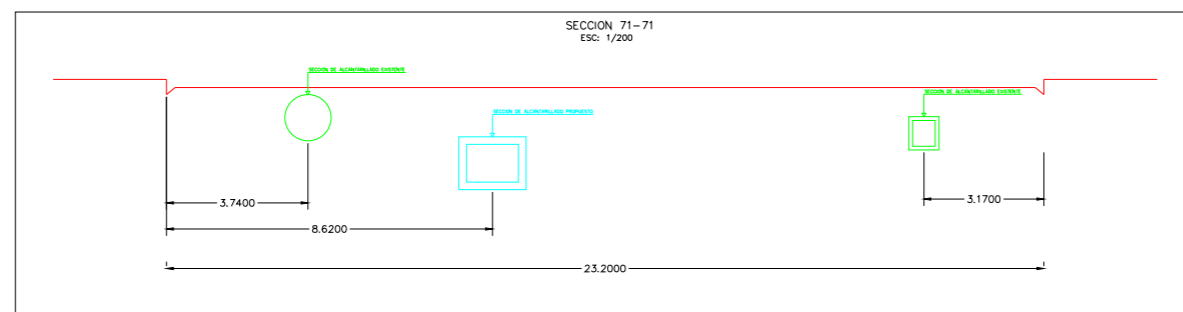
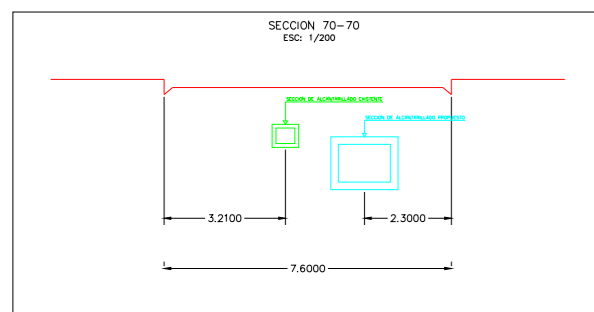
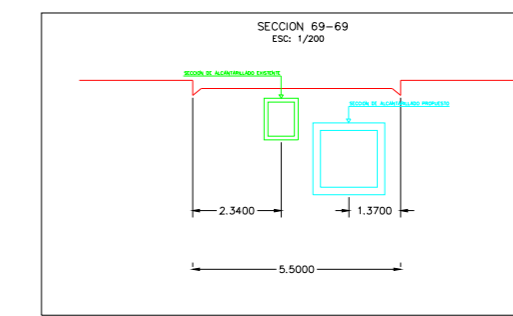
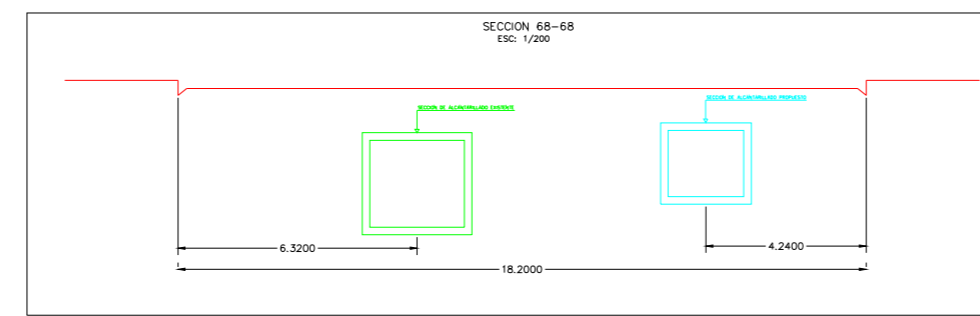
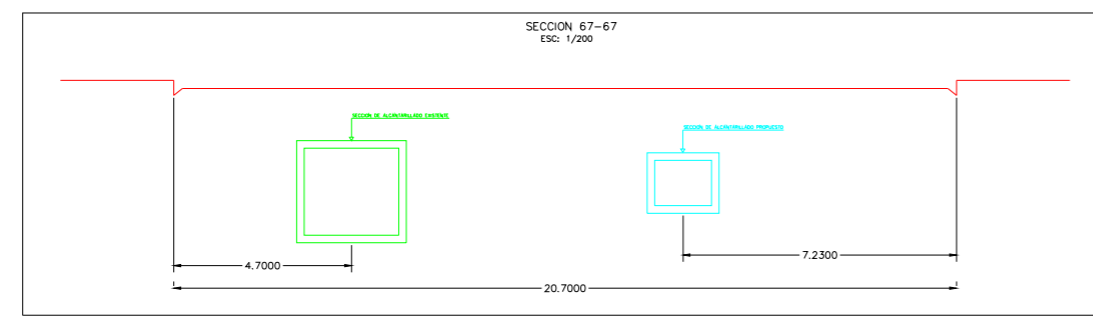
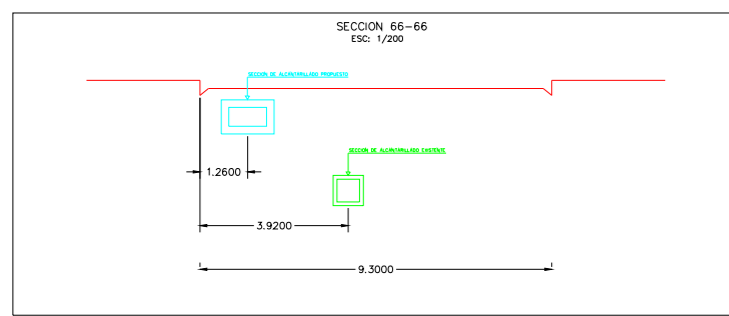
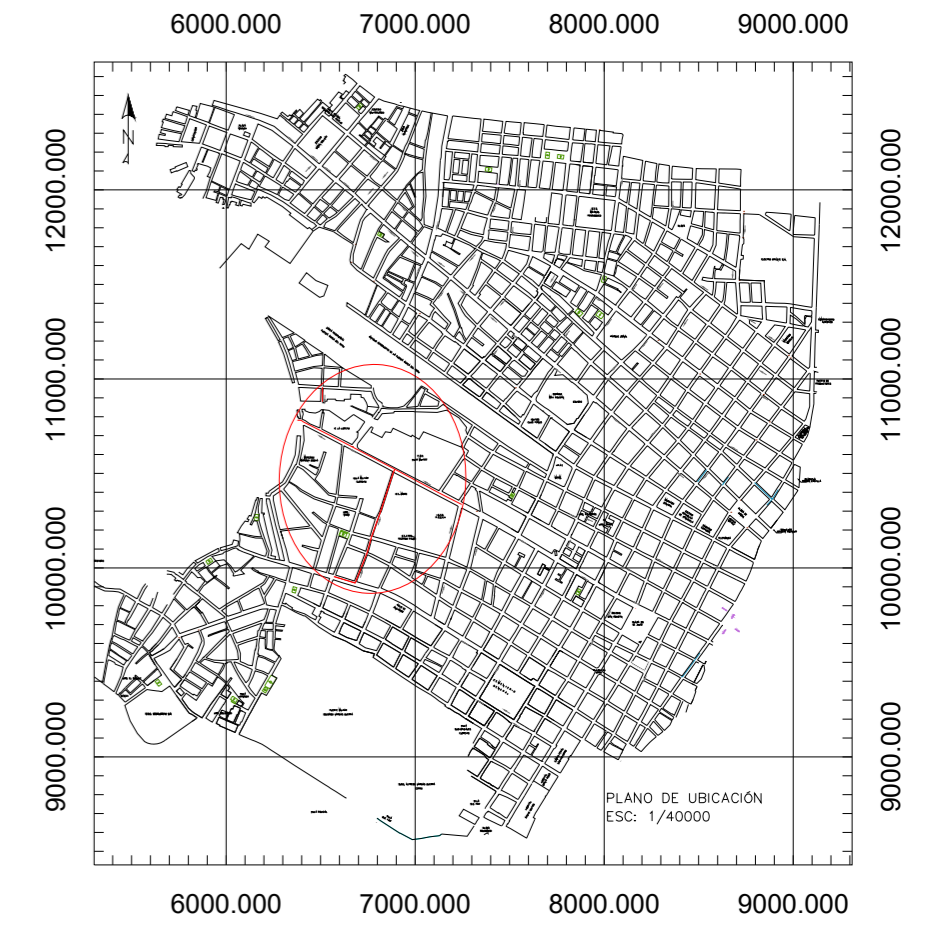
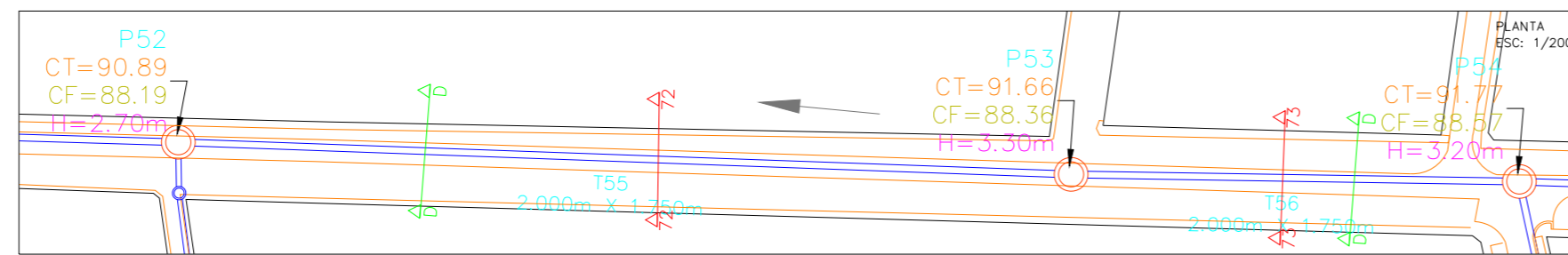
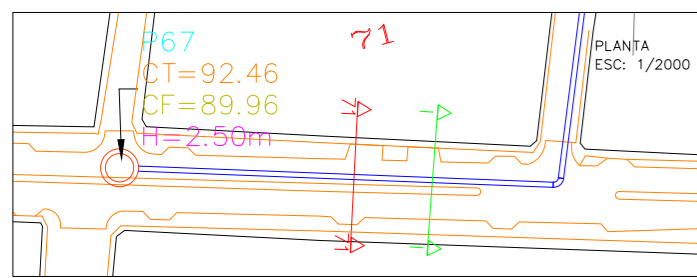
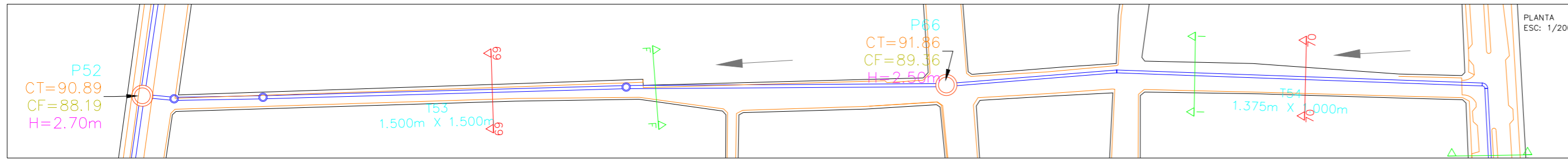
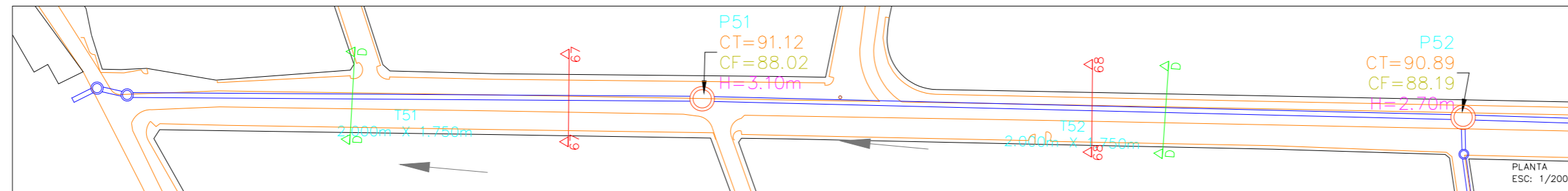
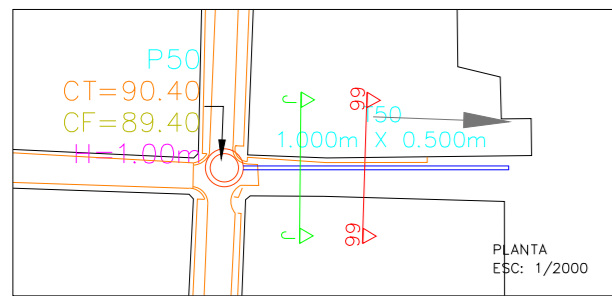
COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P47	8822.6	11080.9
P48	8873.2	10772.5
P28	7678.1	11124.2
P34	7947.7	10899.1
P35	8094.5	11083.1
P36	8453.5	11364.1
P46	8805.3	11253.5



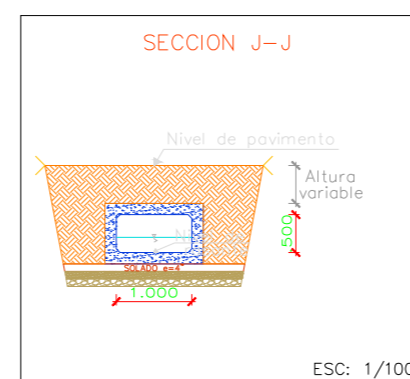
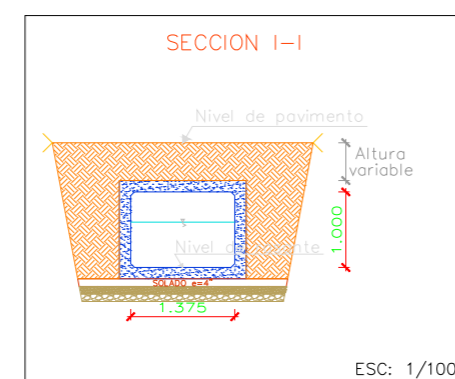
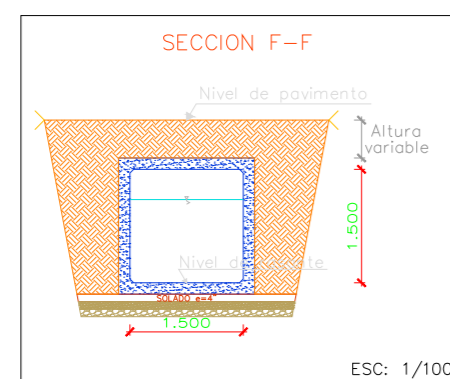
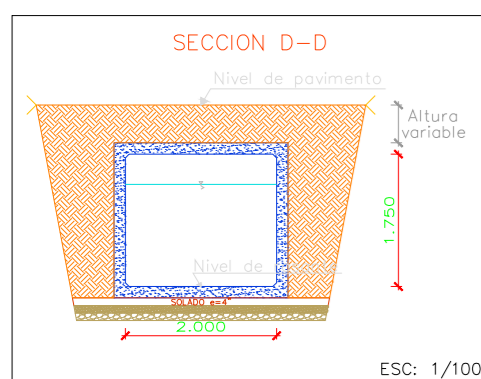


COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P49	8848.6	10519.9
P34	7947.7	10899.1
P42	8039.7	10819.0
P43	8230.2	10656.3
P44	8378.9	10840.2
P45	8486.4	10439.9





COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P50	6509.9	10955.4
P51	6616.9	10667.2
P52	6892.6	10521.9
P53	7126.7	10396.4
P54	7245.4	10335.8
P66	6768.6	10161.1
P67	6570.7	9953.6



ESCALA: INDICADA

SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO PROPUESTO

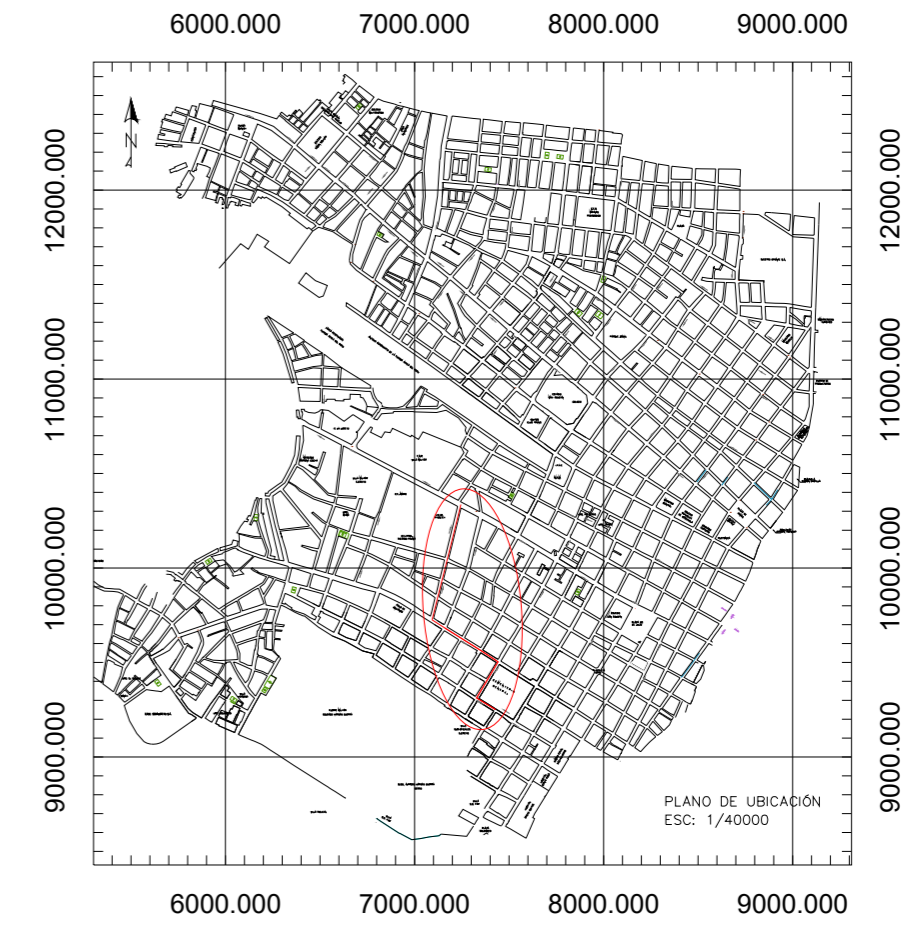
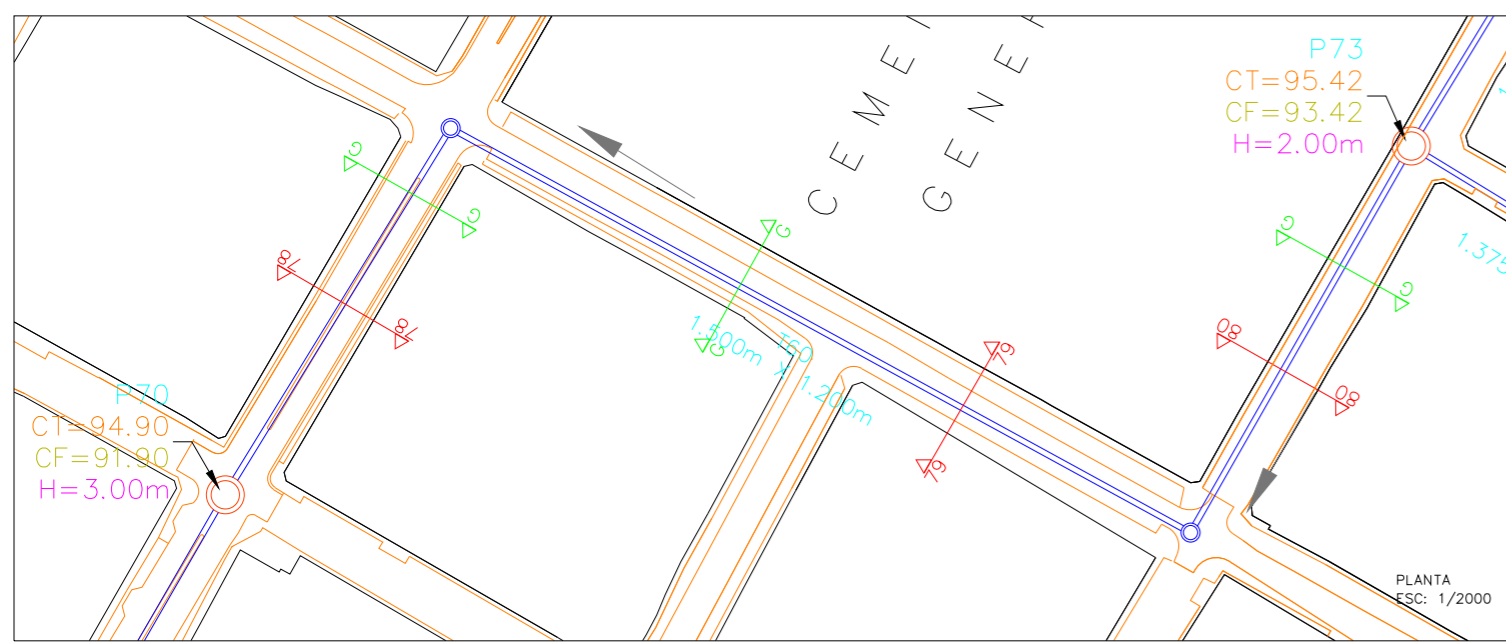
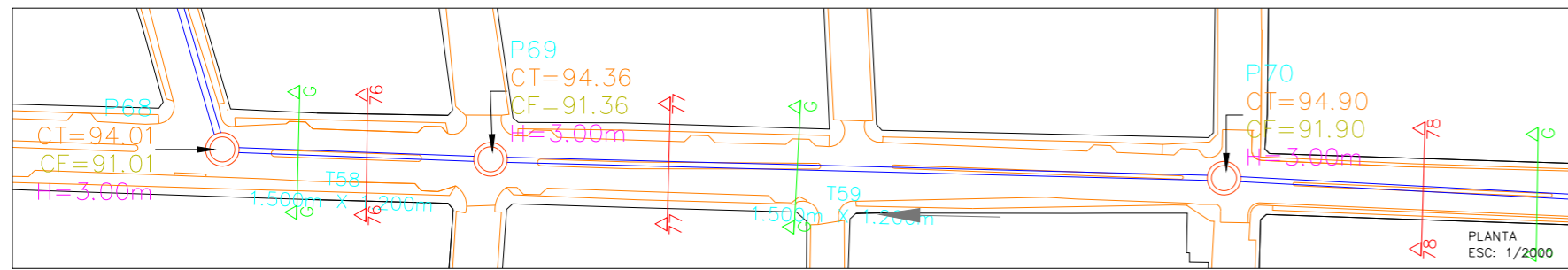
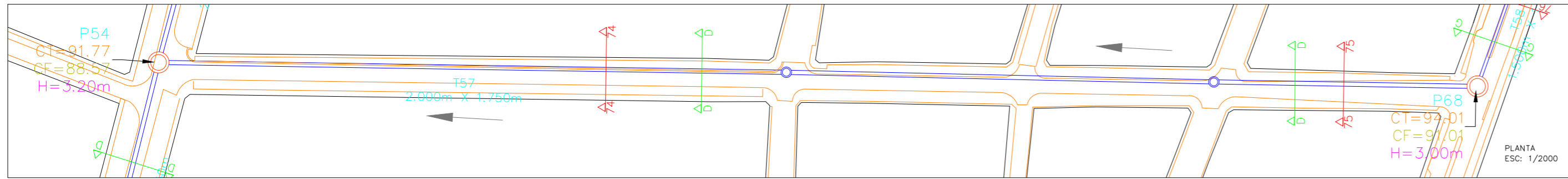
AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

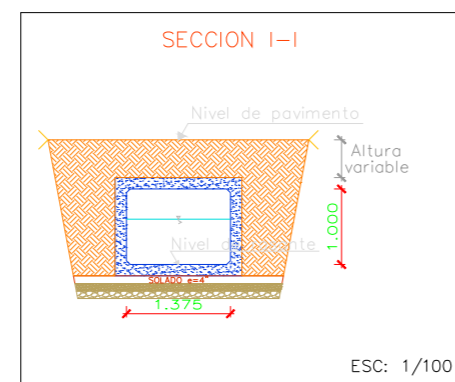
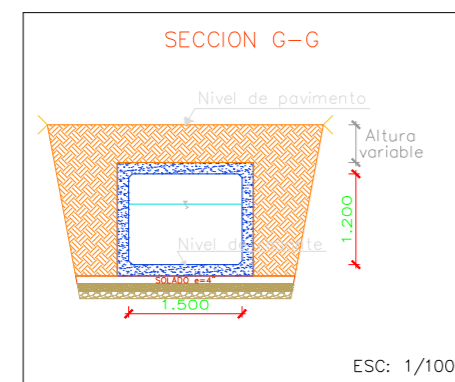
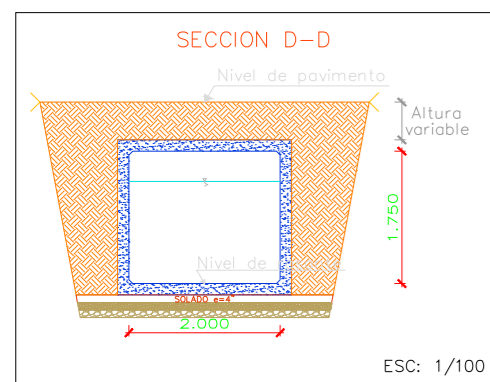
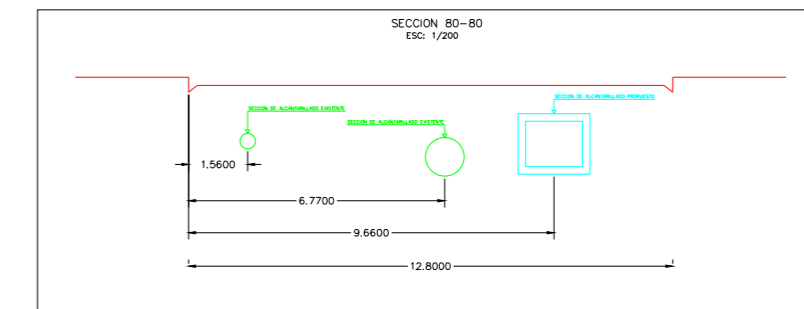
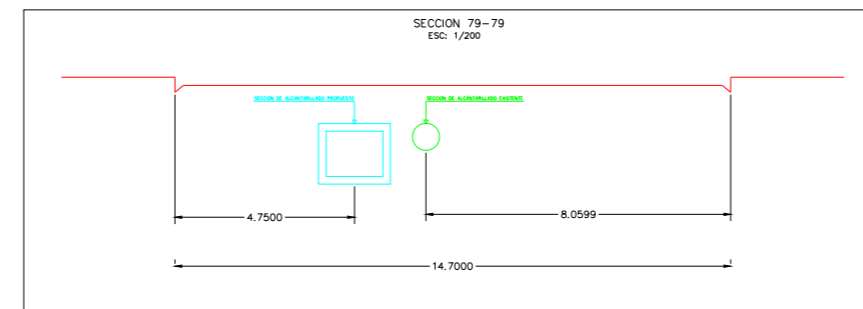
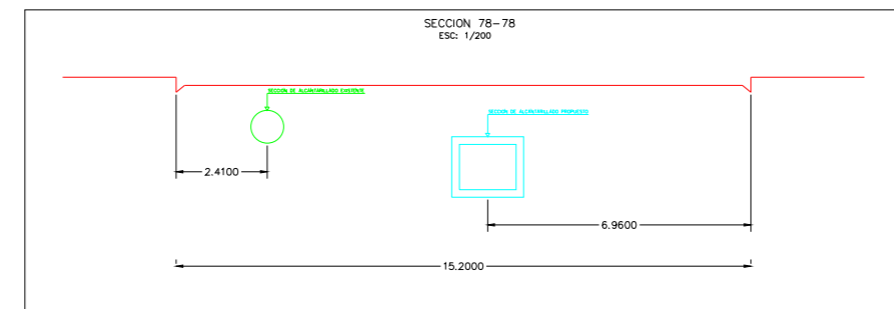
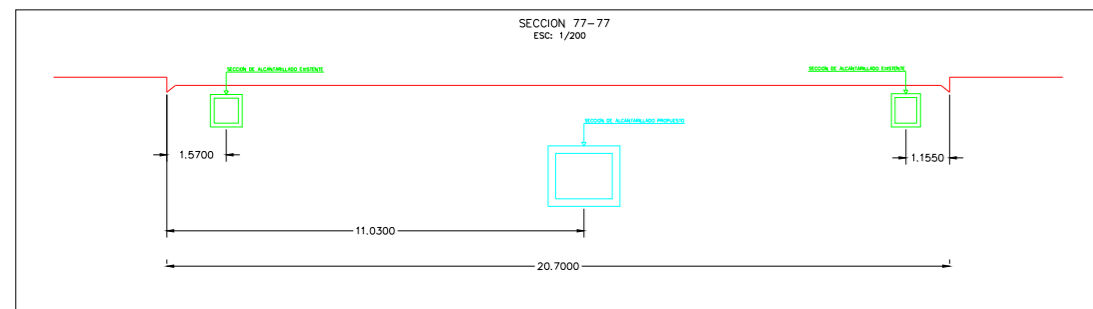
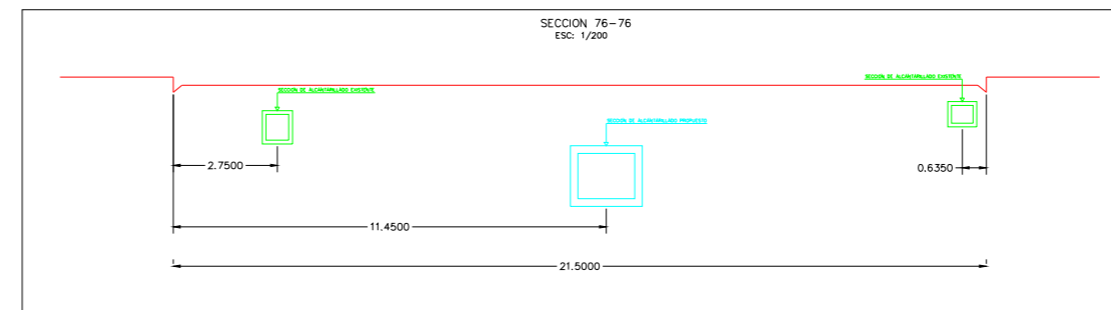
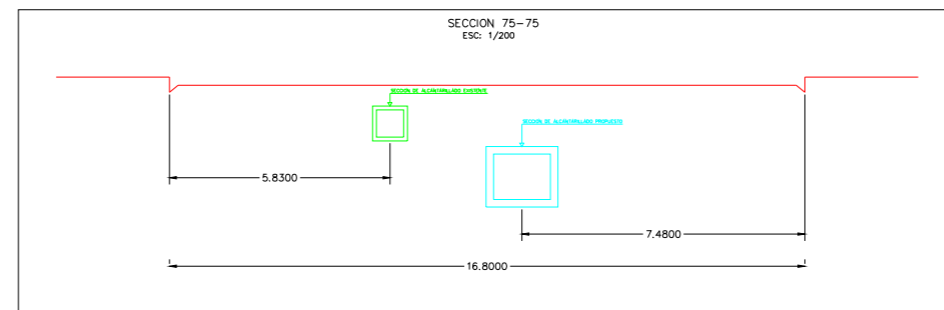
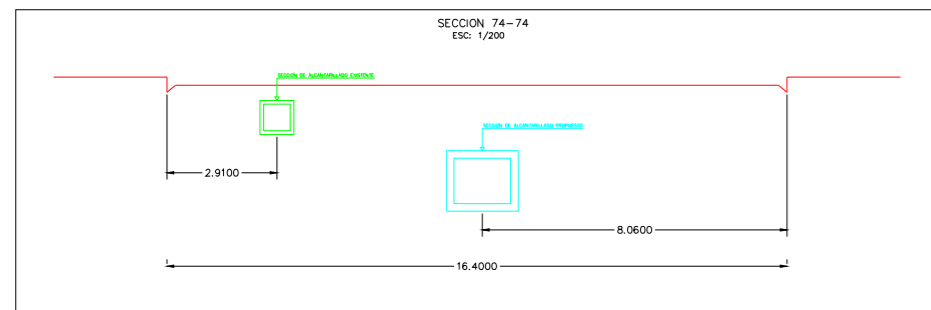
LÁMINA:

12

FECHA: MARZO 2020



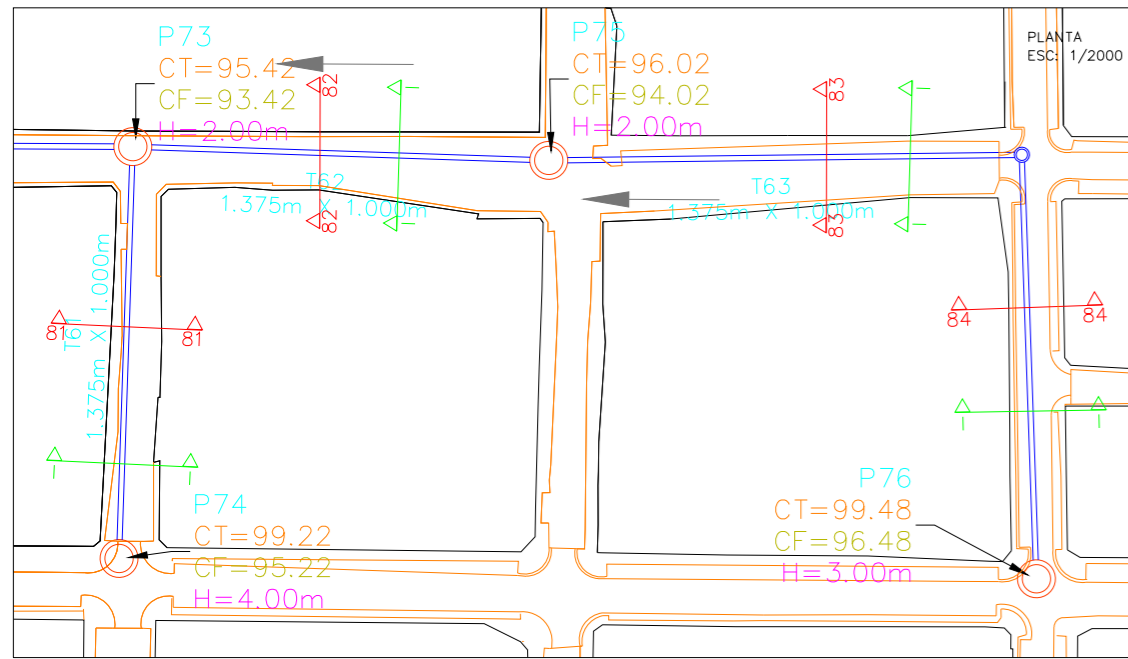
COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P54	7245.4	10335.8
P68	7092.5	9725.6
P69	7160.1	9682.5
P70	7346.2	9566.7
P73	7427.9	9250.1




 UNIVERSIDAD PRIVADA
 ANTENOR ORREGO
 ESCALA: INDICADA

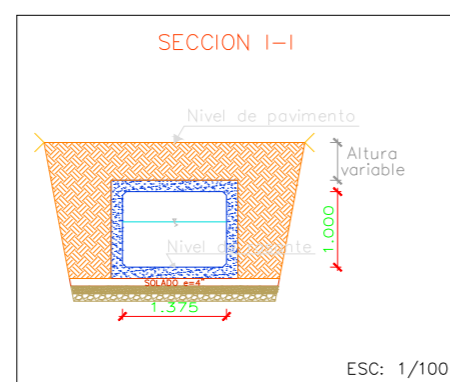
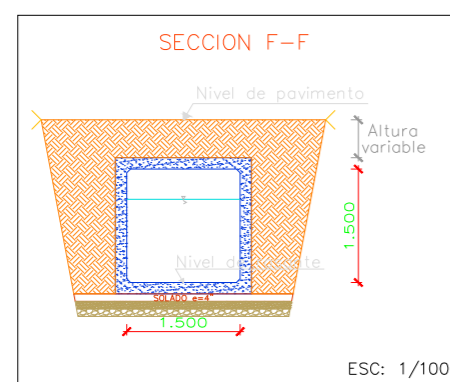
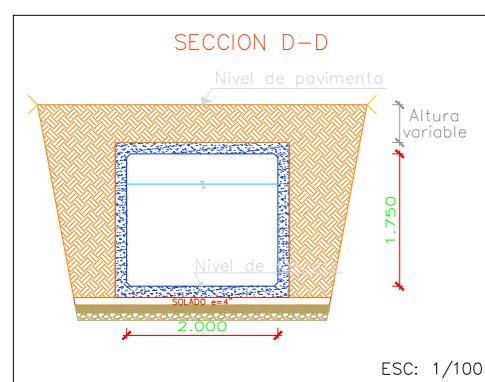
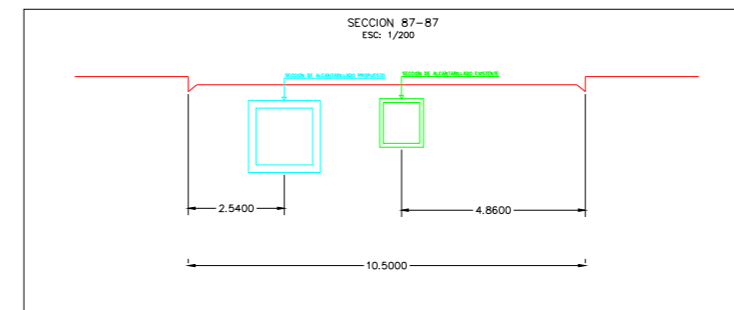
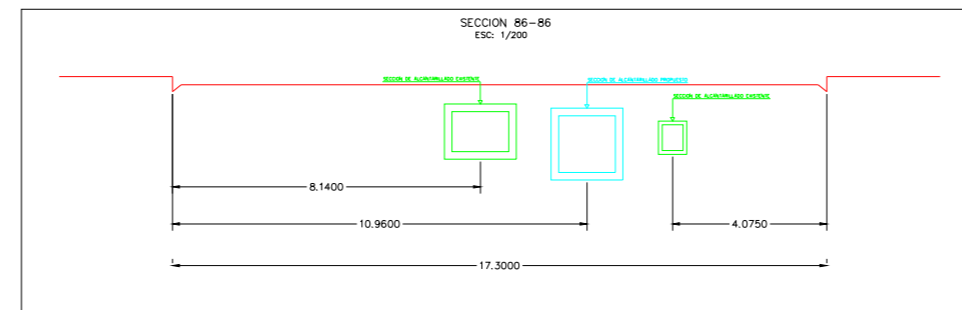
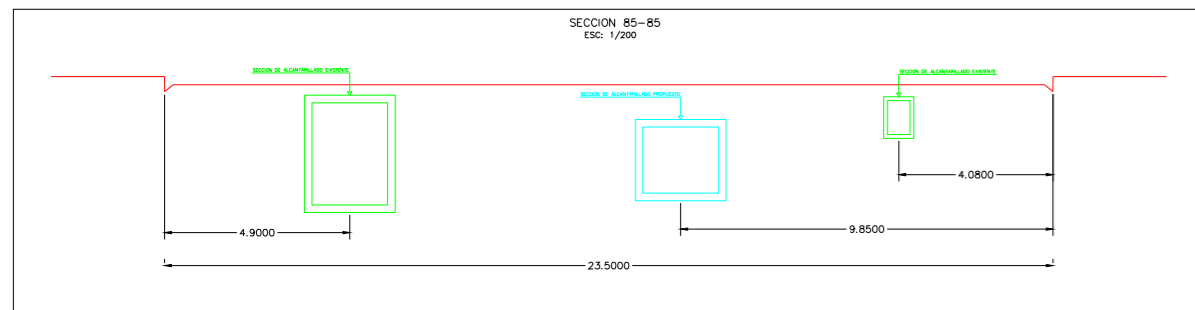
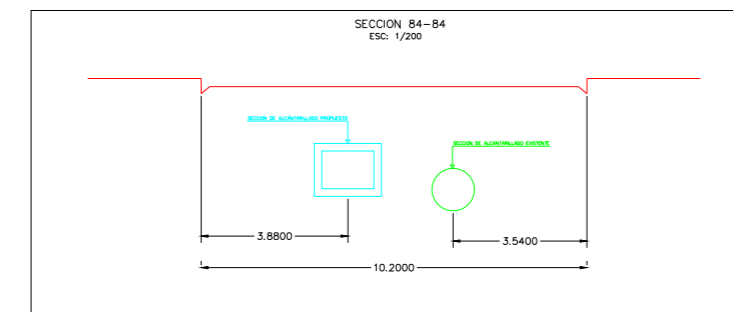
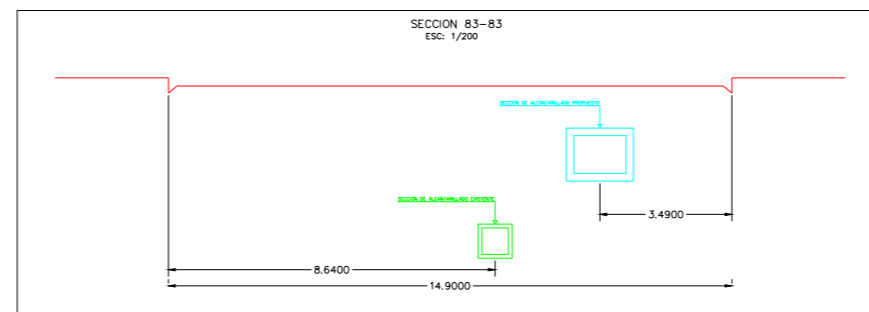
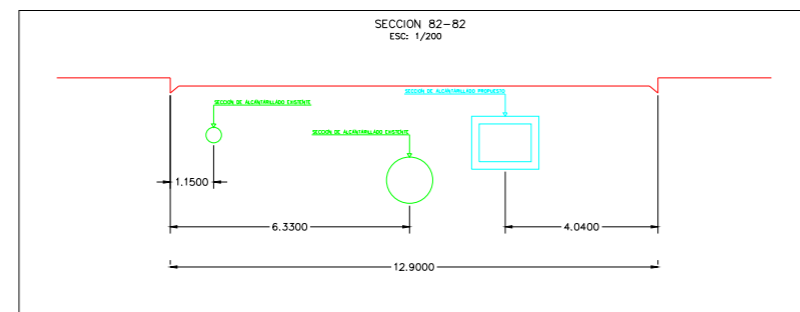
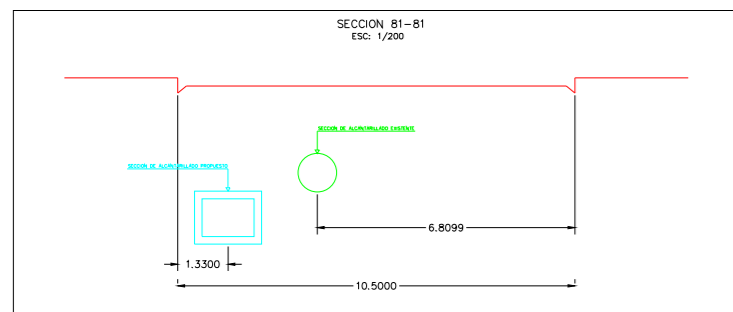
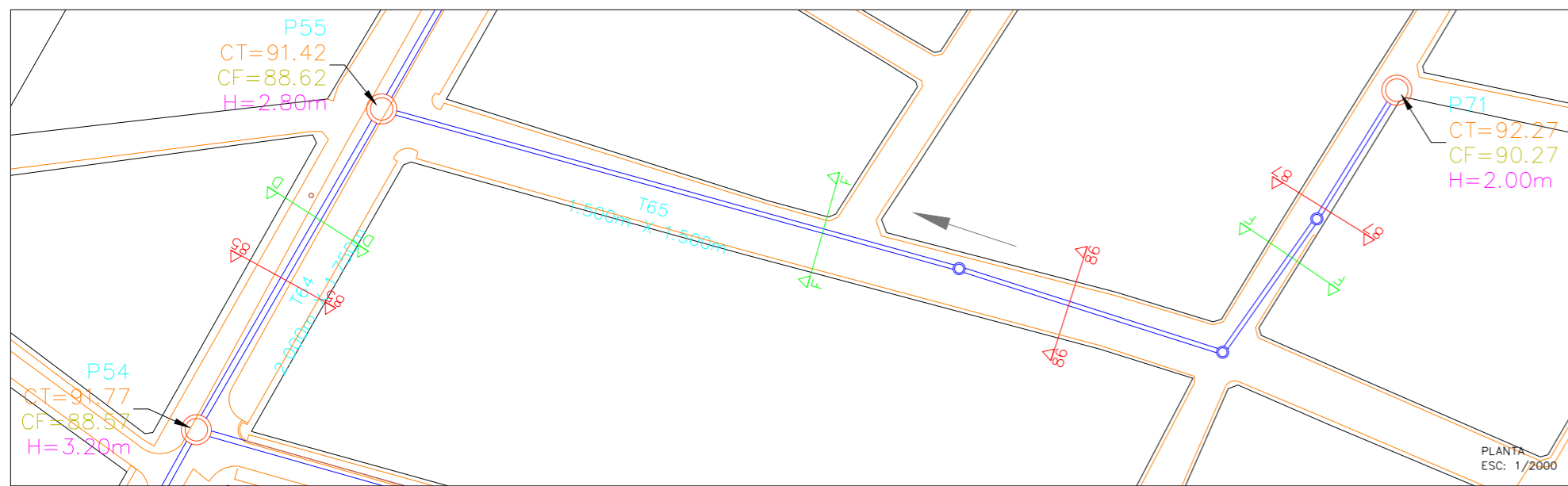
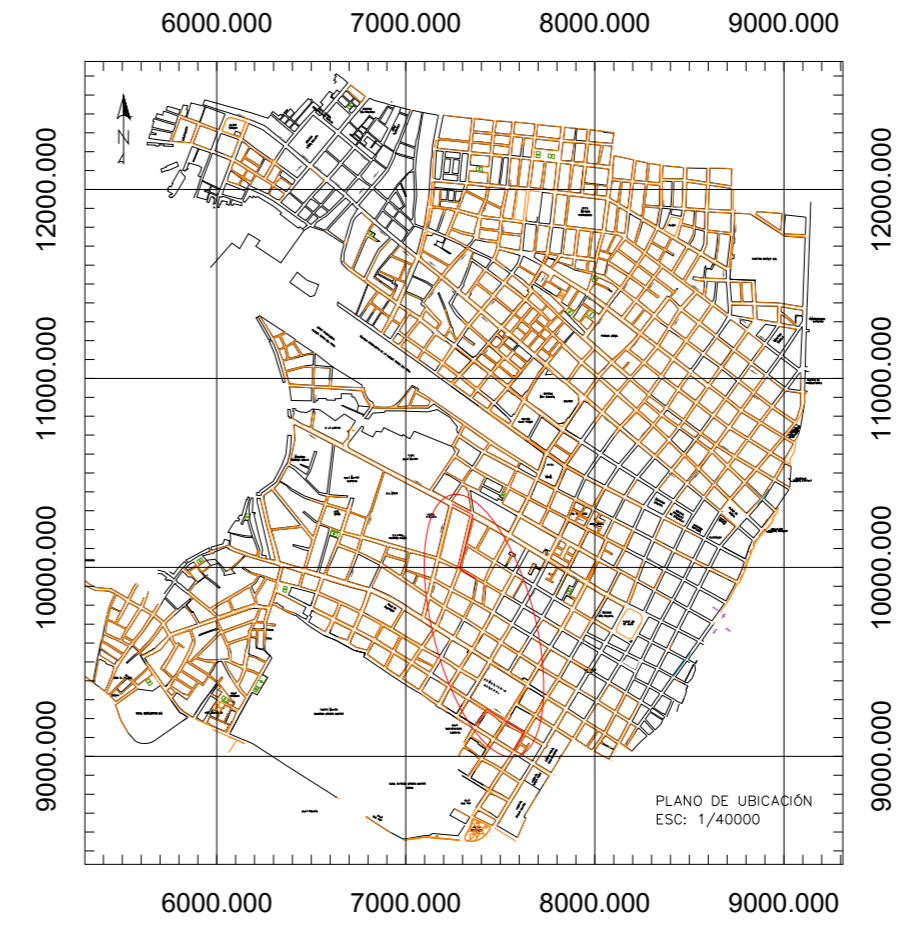
SISTEMA DE DRENAJE
 PLUVIAL URBANO PROPUESTO
 AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO
 ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

LÁMINA:
 13
 FECHA: MARZO 2020



COORDENADAS

NOMBRE:	ESTE	NORTE
P54	7245.4	10335.8
P55	7354.5	10277.6
P71	7372.2	9939.5
P73	7427.9	9250.1
P74	7368.0	9159.0
P75	7519.9	9189.7
P76	7572.4	9028.1




 UNIVERSIDAD PRIVADA
 ANTEÑOR ORREGO

ESCALA: INDICADA

SISTEMA DE DRENAJE
 PLUVIAL URBANO PROPUESTO

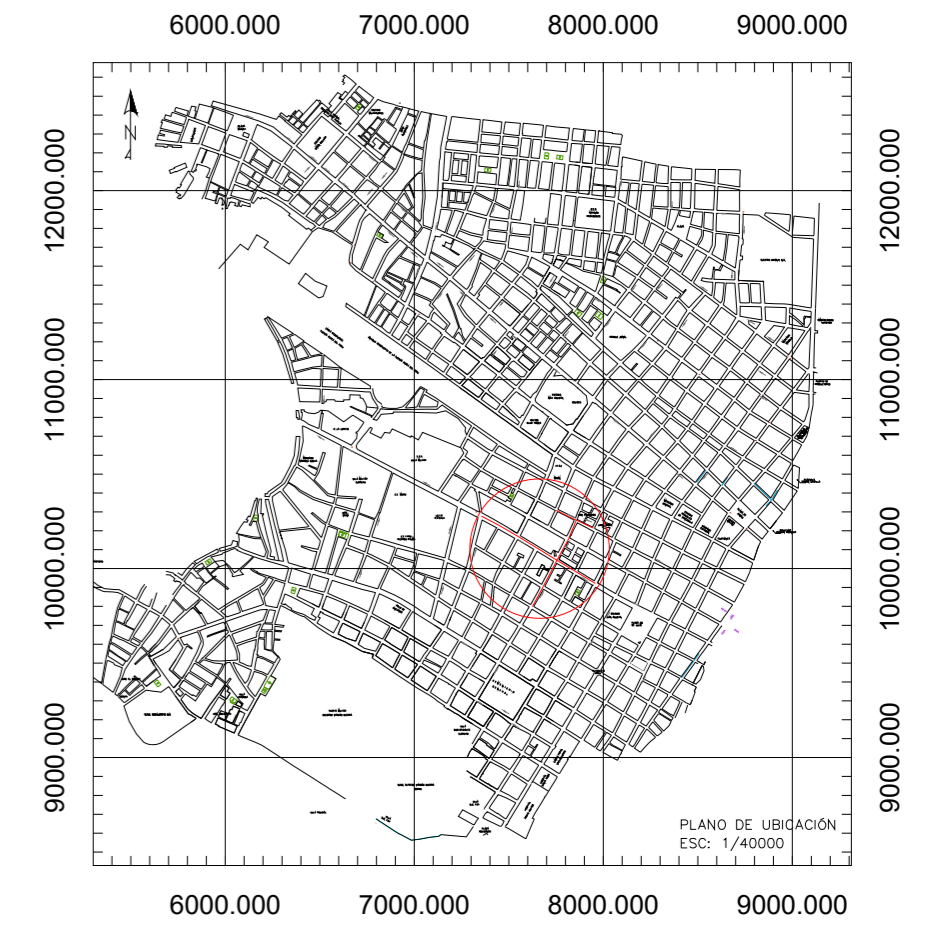
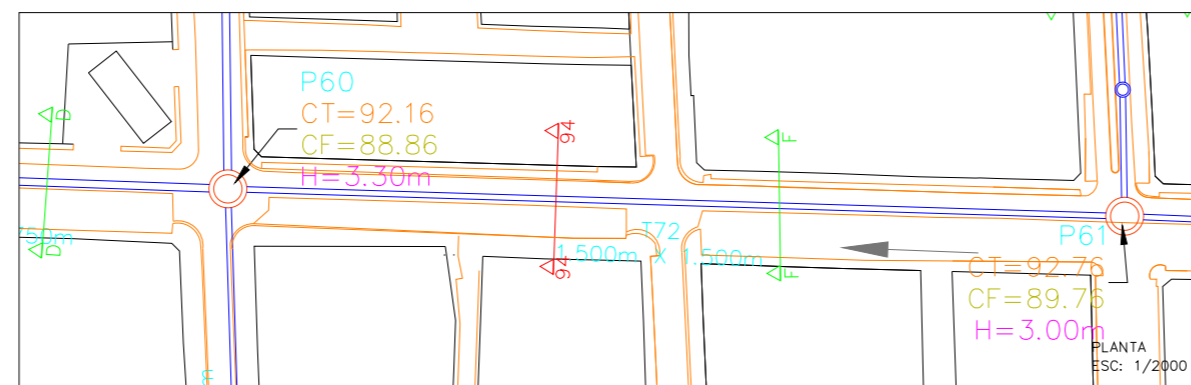
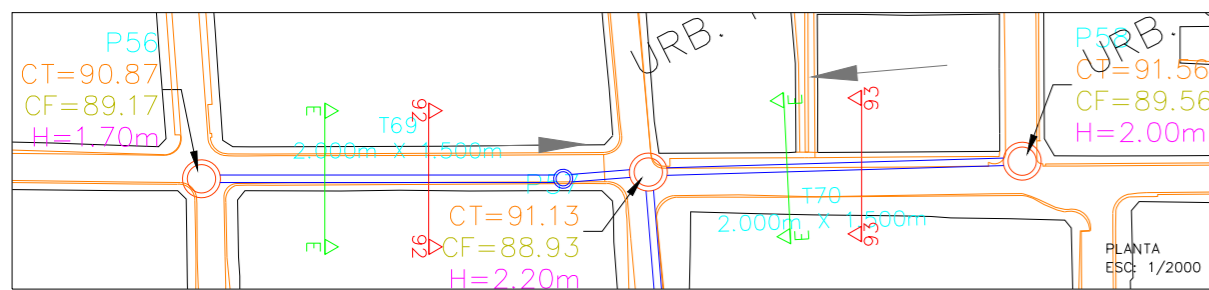
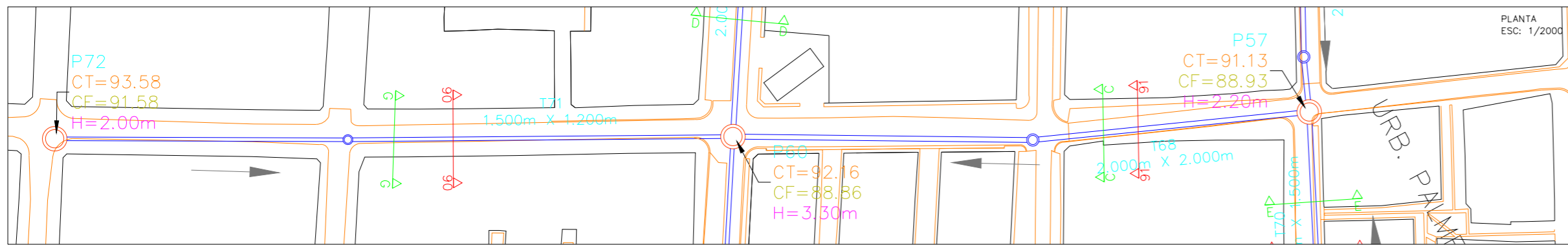
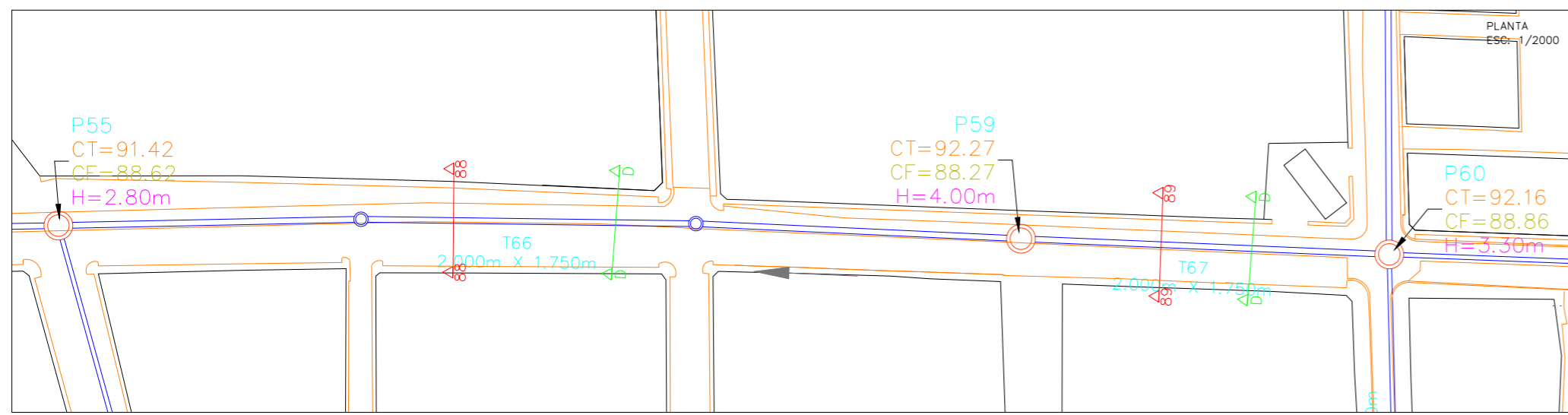
AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

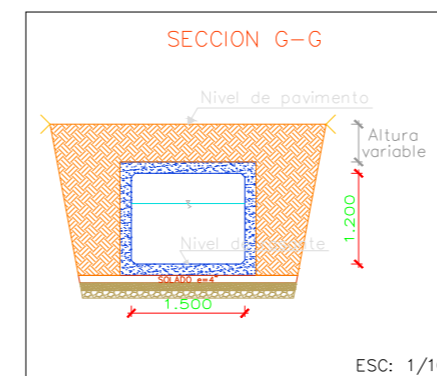
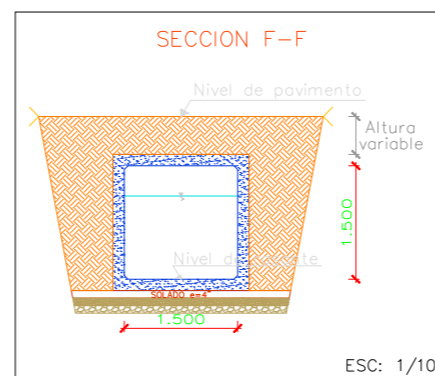
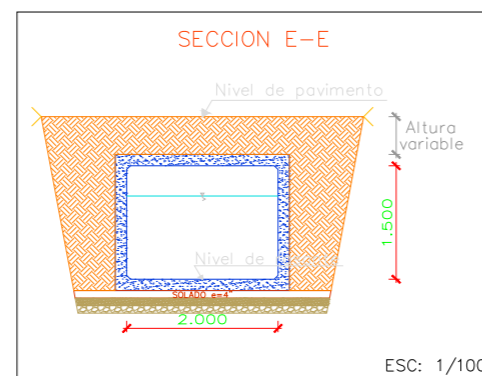
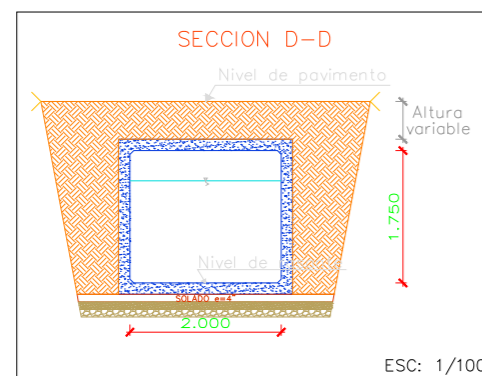
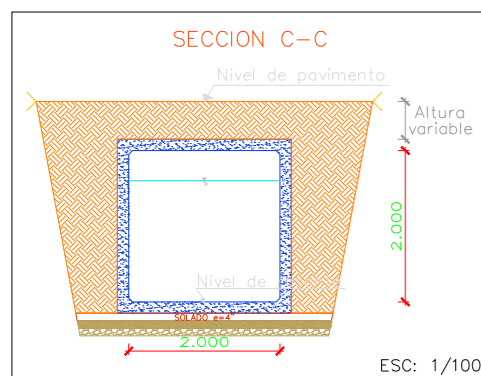
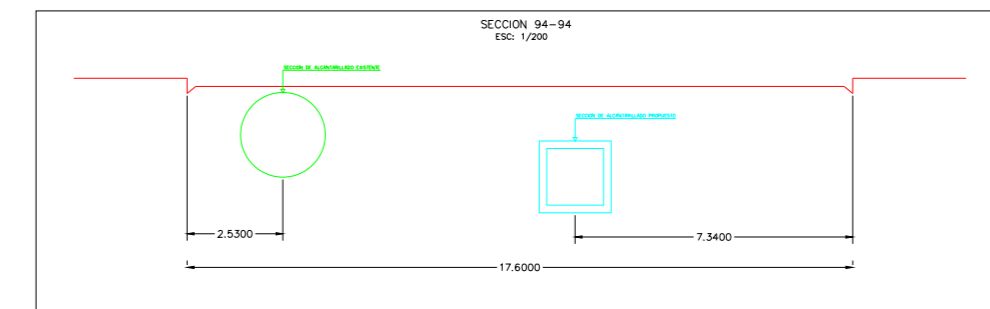
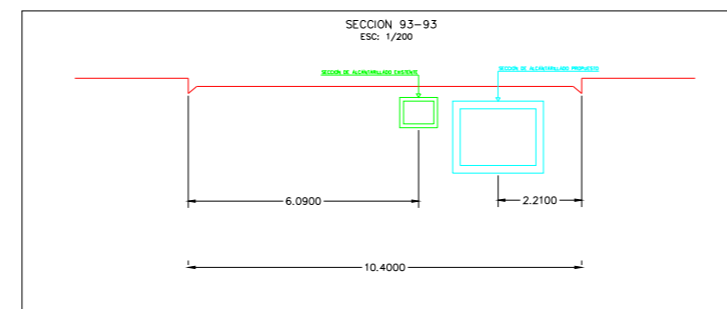
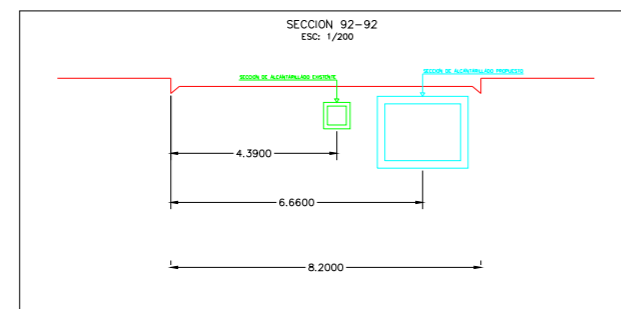
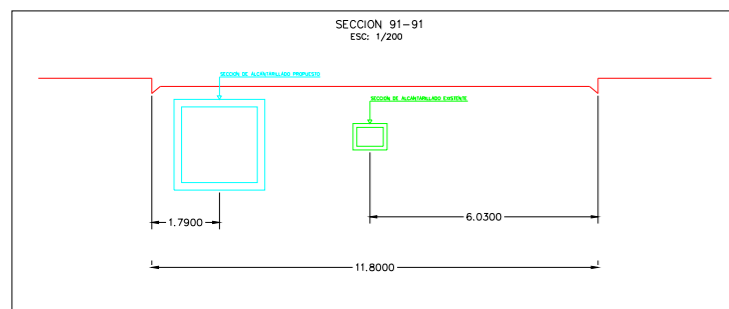
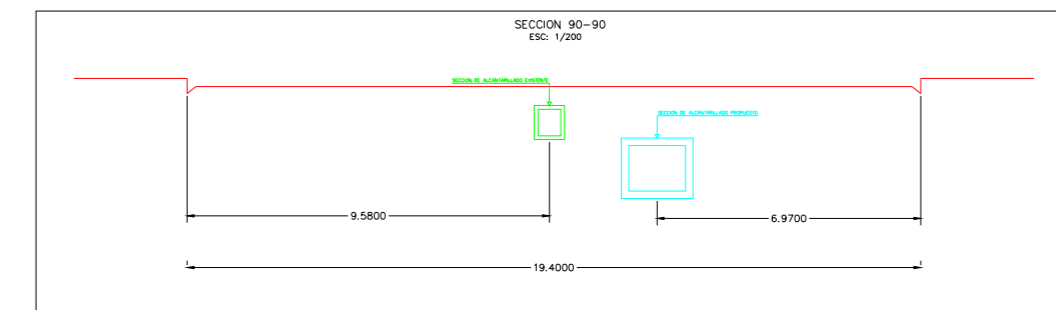
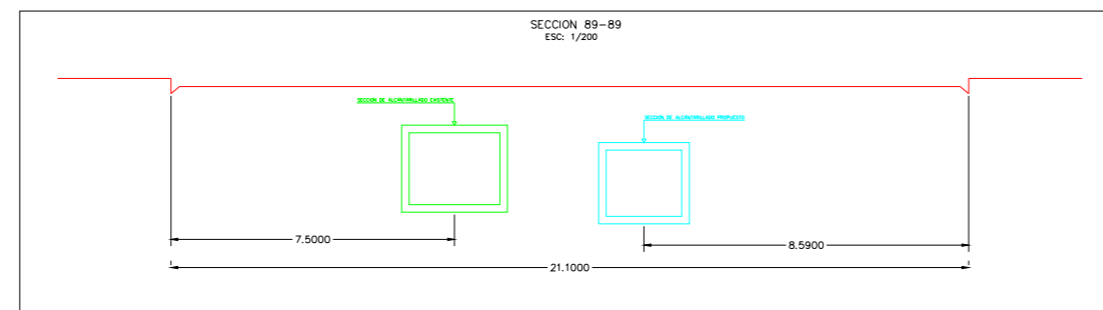
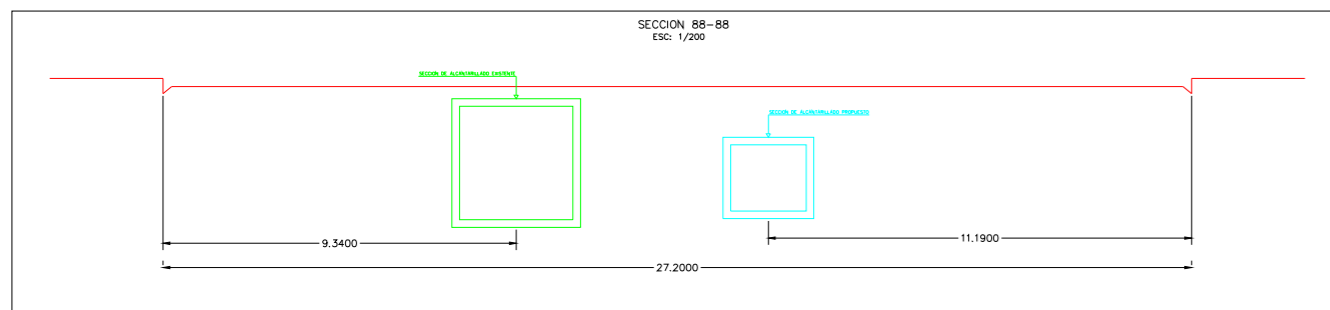
LÁMINA:

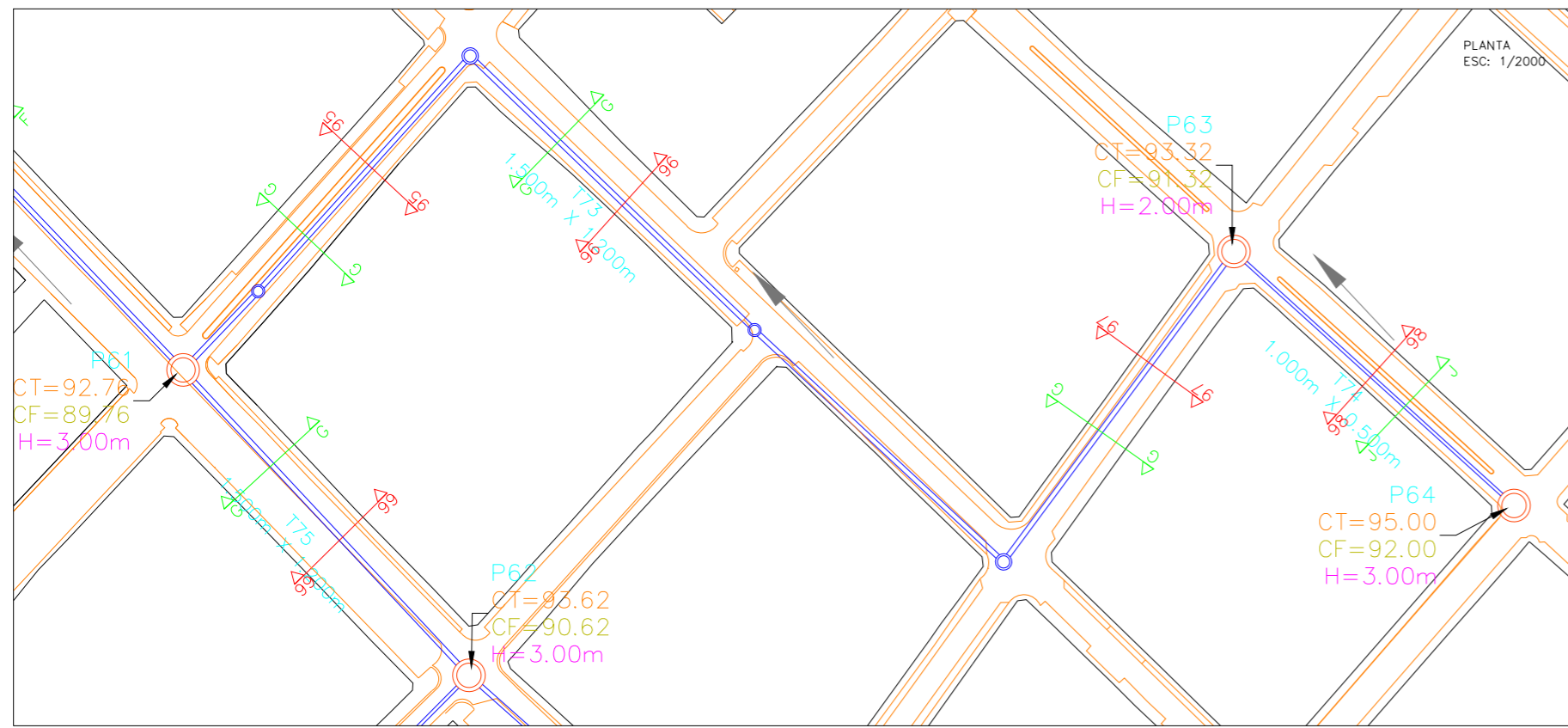
14

FECHA: MARZO 2020



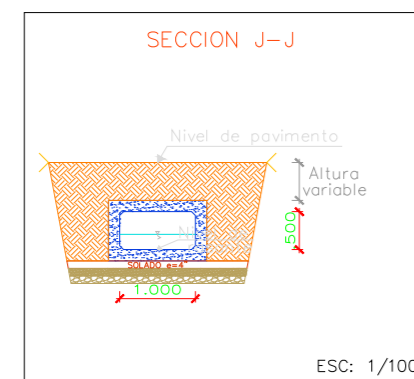
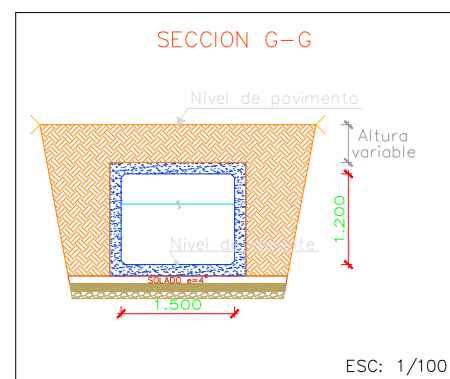
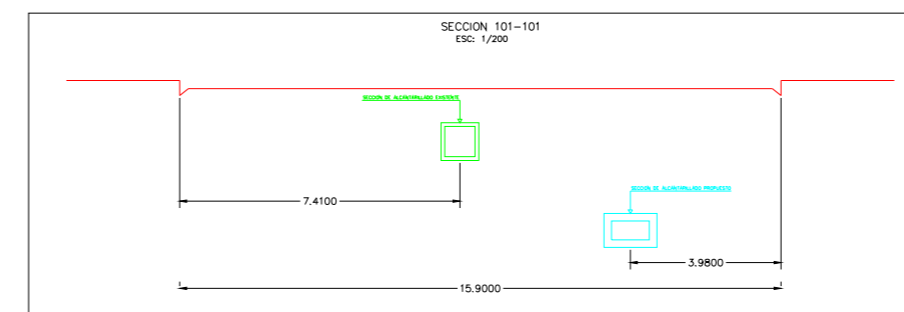
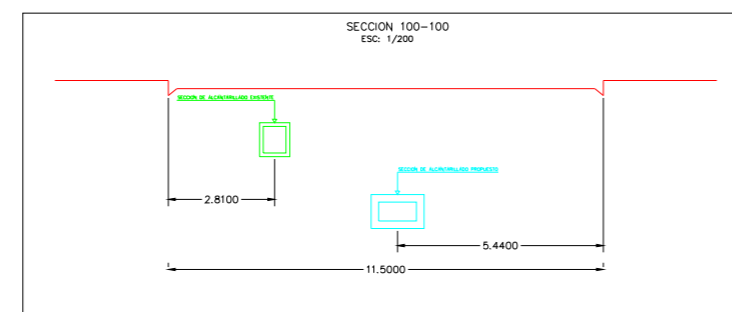
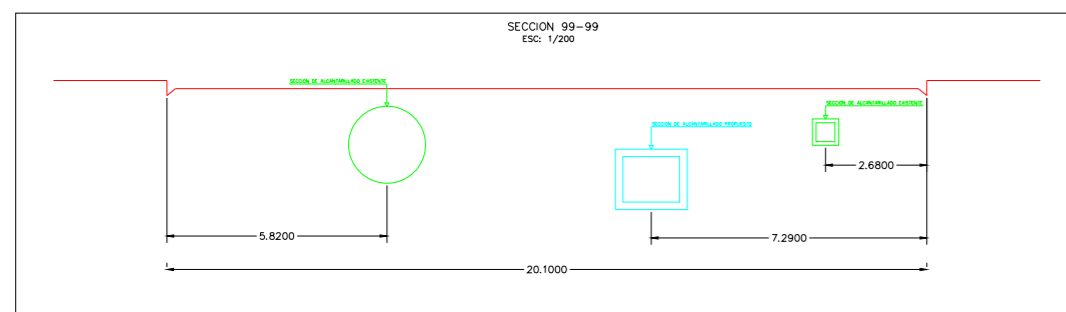
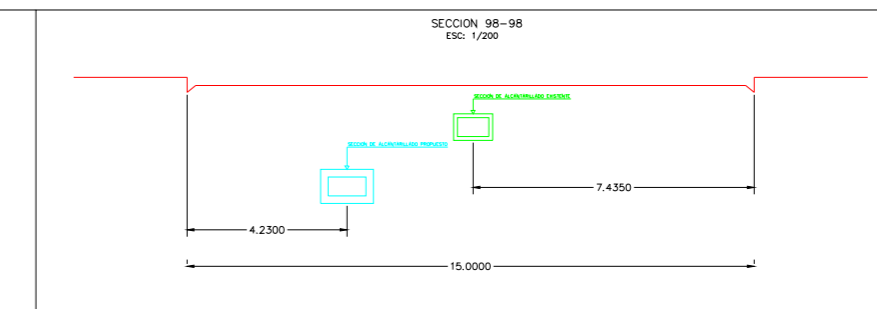
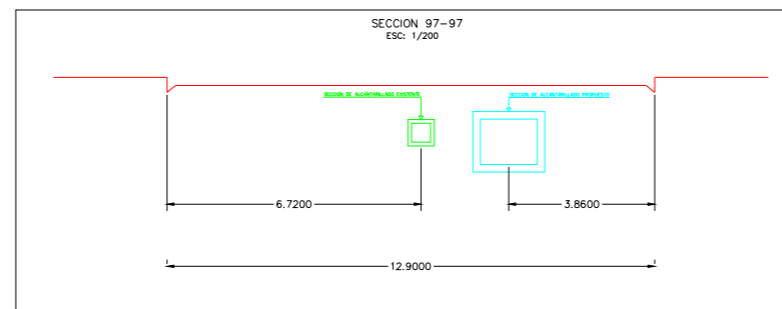
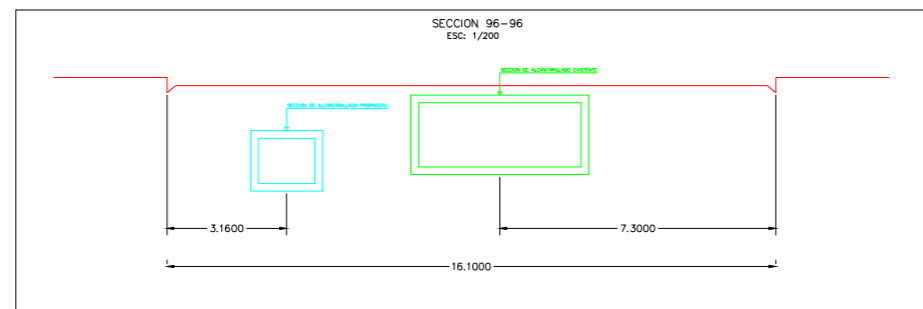
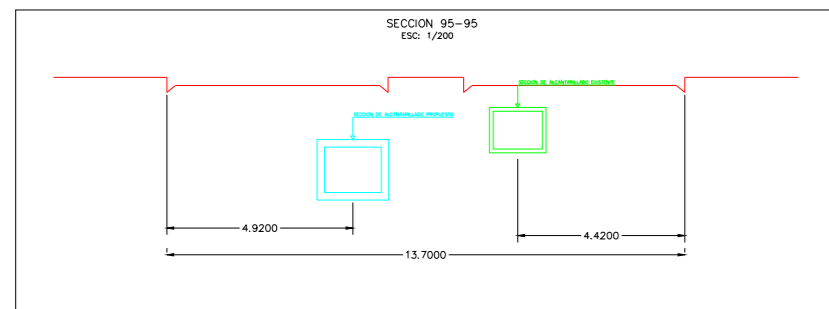
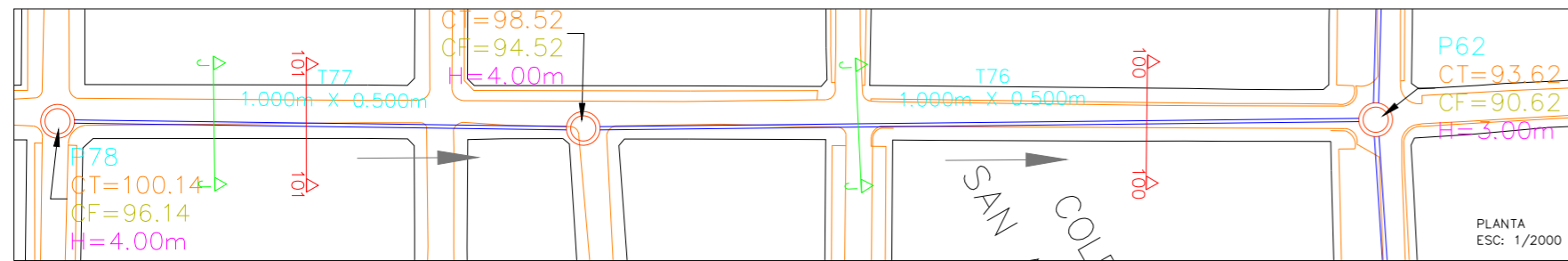
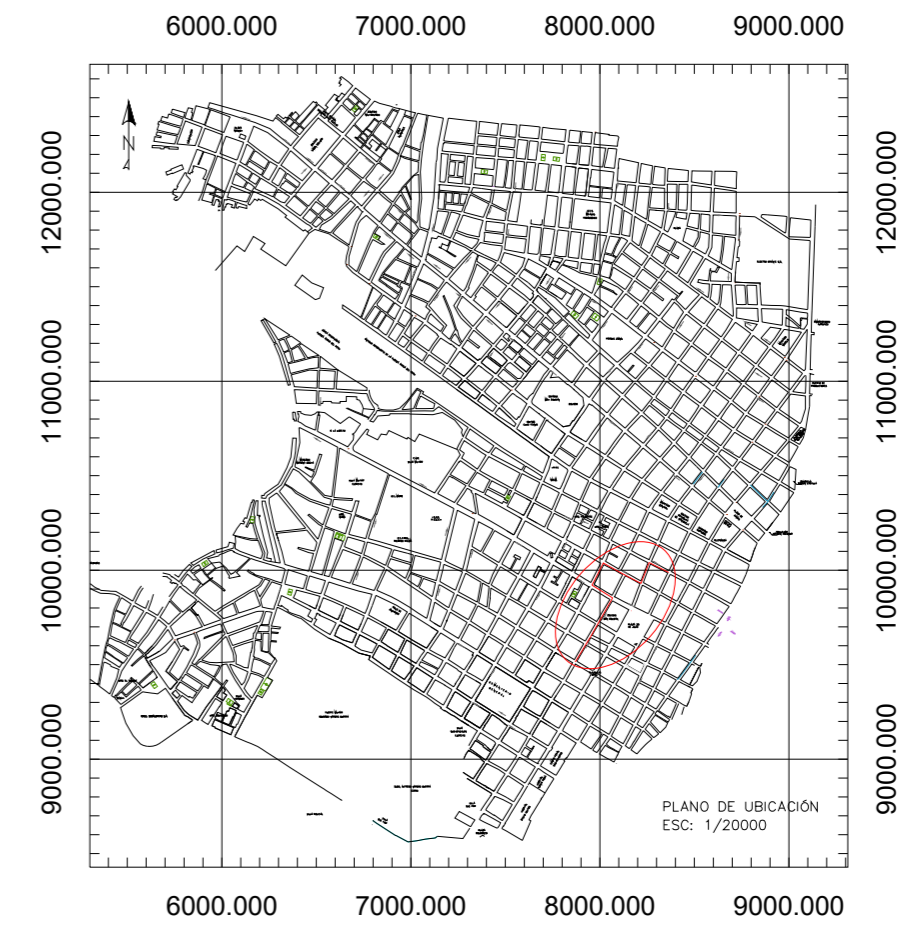
COORDENADAS		
NOMBRE:	ESTE	NORTE
P55	7354.5	10277.6
P56	7750.6	10308.6
P57	7856.7	10256.5
P58	7946.2	10214.2
P59	7645.1	10111.0
P60	7754.5	10044.1
P61	7957.5	9921.1
P72	7624.6	9799.1






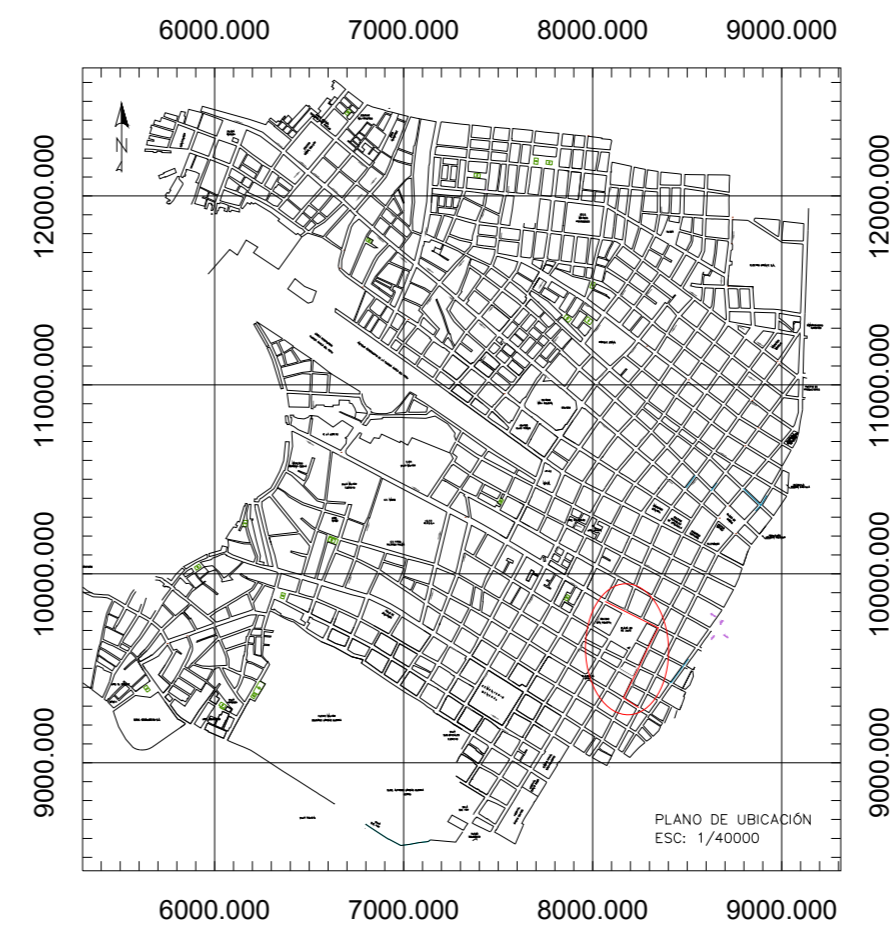
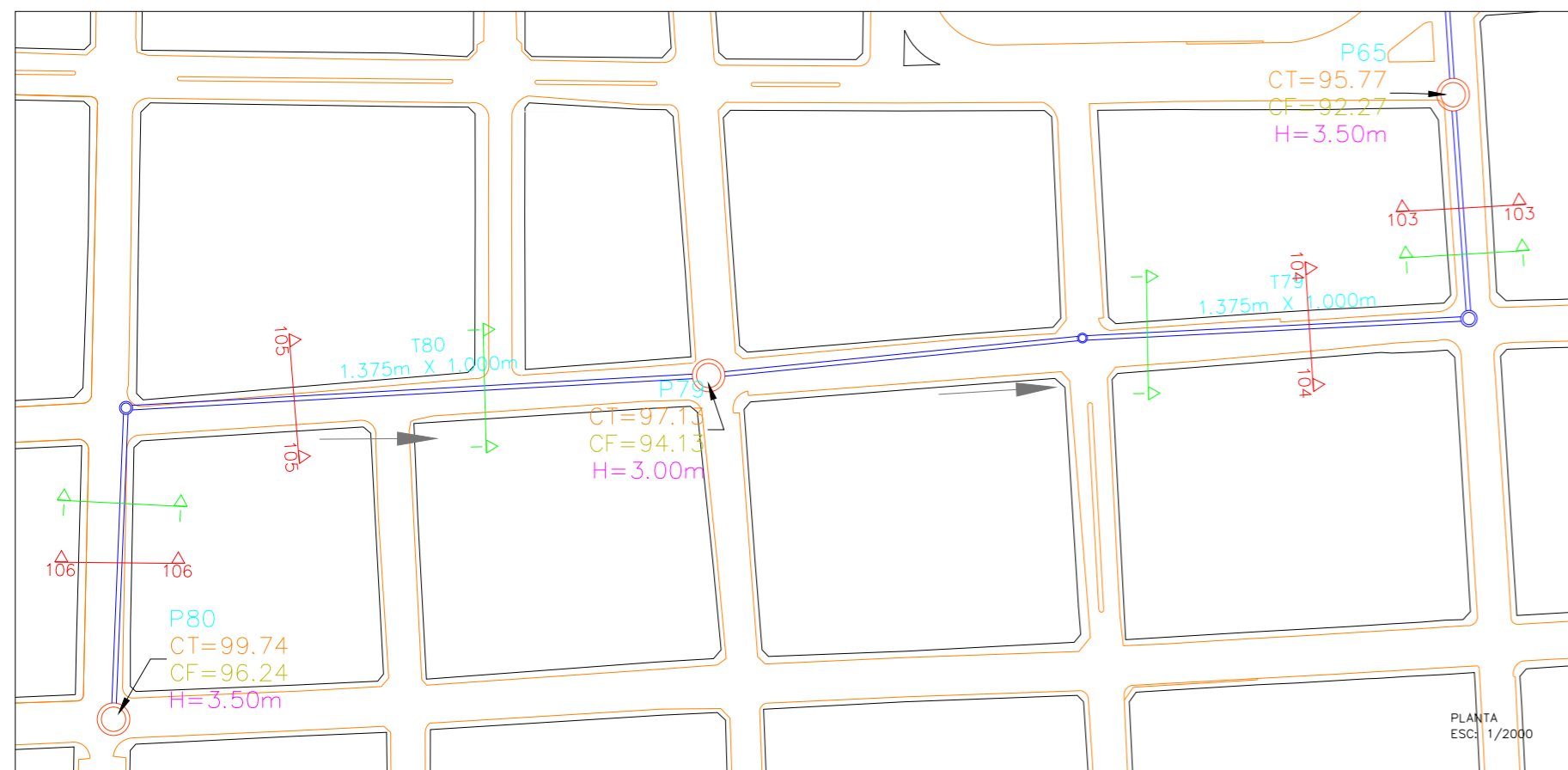
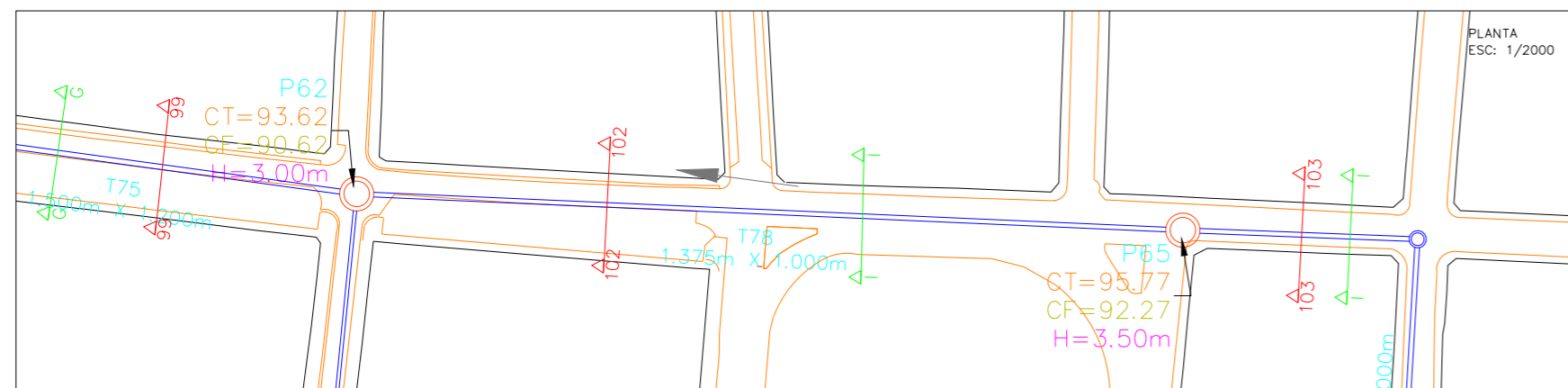
COORDENADAS

NOMBRE:	ESTE	NORTE
P61	7957.5	9921.1
P62	8067.0	9853.4
P63	8260.3	10040.7
P64	8363.9	9987.7
P77	7950.5	9648.4
P78	7870.0	9514.4



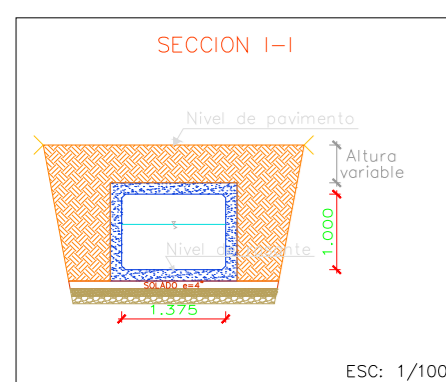
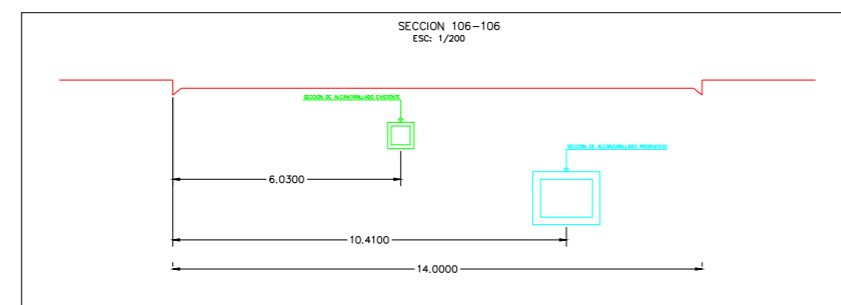
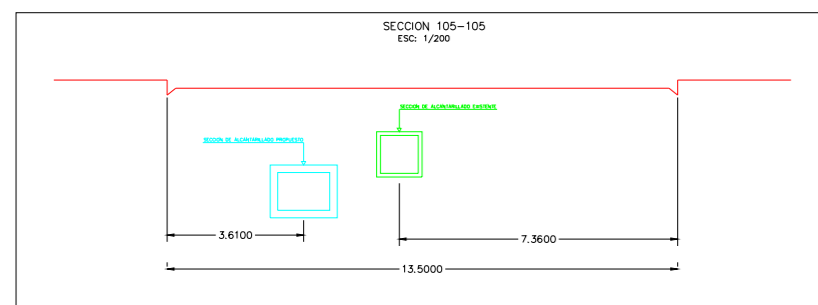
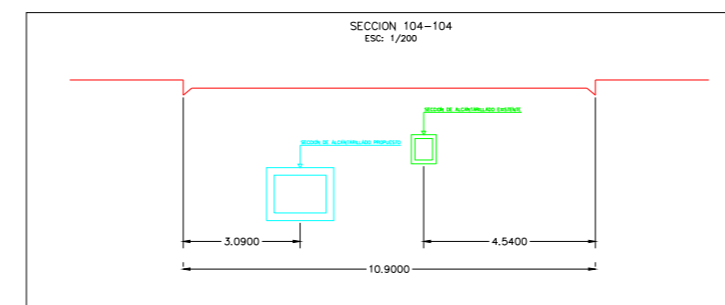
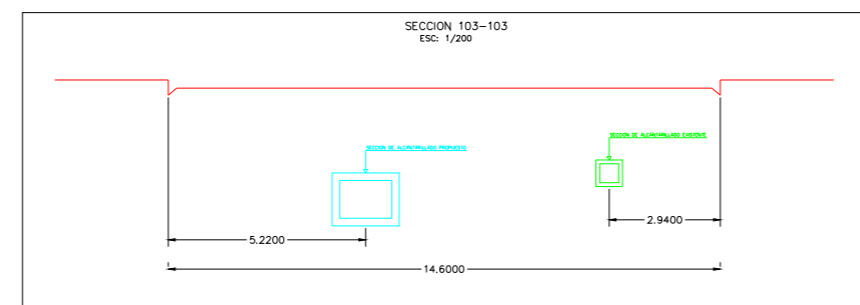
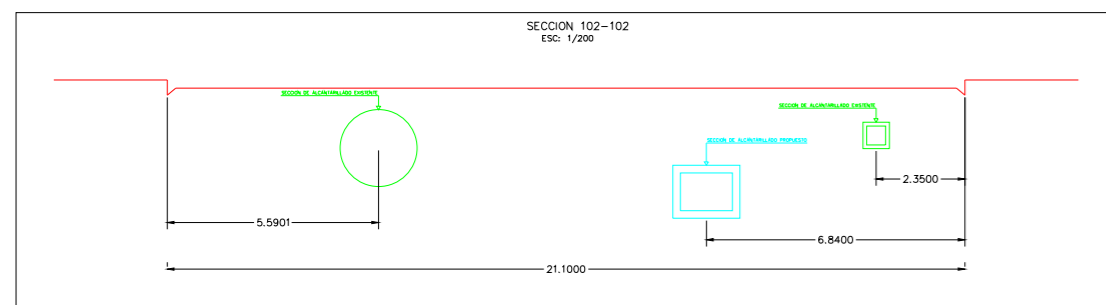
 UNIVERSIDAD PRIVADA ANTEÑOR ORREGO	SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL URBANO PROPUESTO	LÁMINA: 16
	AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA	FECHA: MARZO 2020

ESCALA: INDICADA



COORDENADAS

NOMBRE:	ESTE	NORTE
P62	8067.0	9853.4
P65	8284.6	9744.9
P79	8243.9	9503.4
P80	8243.1	9291.8



UNIVERSIDAD PRIVADA
ANTENOR ORREGO

SISTEMA DE DRENAJE
PLUVIAL URBANO PROPUESTO

AUTOR: GELDRES RIOS, MARIO

ASESOR: MG. ING. RICARDO NARVAEZ ARANDA

ESCALA: INDICADA

LÁMINA:

17

FECHA: MARZO 2020