



FACULTAD DE CIENCIA Y TEGNOLOGÍA

INGENIERÍA CIVIL

Modelación del Alcantarillado de la Calle Pío Bravo, Cuenca

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

THOMÁS ALFONSO CÁRDENAS FLORES

BRIAN EDUARDO LEMA LEGARDA

Director

ING. PATRICIA PALACIOS ROMERO, M.Sc.

Cuenca-Ecuador

2023

DEDICATORIA

Hoy, al concluir esta etapa trascendental en mi vida académica, quiero dedicar estas palabras llenas de amor y agradecimiento a cada uno de ustedes. Vuestra presencia ha sido el pilar que me ha sostenido y fortalecido a lo largo de este camino.

A mis padres, gracias por ser mis primeros maestros y modelos a seguir. Vuestra dedicación, sacrificio y apoyo incondicional han sido el motor que me impulsó a perseguir mis metas. Cada palabra de aliento, cada abrazo y cada sonrisa han sido la fuerza que necesitaba para superar cualquier obstáculo. Vuestra confianza en mí ha sido mi mayor motivación.

Con amor y gratitud eternos,

Thomás Alfonso Cárdenas Flores.

DEDICATORIA

A mis padres, pues han sido ellos quienes me han enseñado a nunca rendirme en la búsqueda de mis sueños, quienes siempre me han brindado su confianza, su afecto y el espíritu de lucha necesario para culminar esta etapa tan importante de mi vida. A mis hermanas, por su apoyo incondicional en el transcurso de estos años de estudio. En especial a mi hermana mayor por creer siempre en mí y por inculcarme desde el inicio un cariño especial a la ingeniería.

Con amor y gratitud eternos,

Brian Eduardo Lema Legarda.

AGRADECIMEINTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por su guía y bendiciones a lo largo de esta etapa de mi vida académica. Su presencia en mi vida ha sido mi mayor fortaleza y fuente de inspiración. Gracias por darme la sabiduría y la perseverancia para completar esta tesis.

A mis amados padres, les agradezco de todo corazón por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificio. Su constante aliento y fe en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro académico. Sin su amor y orientación, no estaría donde estoy hoy.

A mi querida familia, les agradezco por su cariño, comprensión y aliento constante. Su apoyo incondicional ha sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por estar siempre a mi lado, celebrando mis triunfos y brindándome fuerza en los momentos difíciles.

A mi tutor de tesis, ING. PATRICIA PALACIOS ROMERO, M.Sc., quiero agradecerle por su paciencia, sabiduría y orientación durante todo este proceso. Su experiencia y dedicación fueron clave para el éxito de este trabajo. Agradezco su tiempo y su valiosa contribución a mi crecimiento académico.

Con amor y gratitud eternos,

Thomás Alfonso Cárdenas Flores.

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en el desarrollo y éxito de esta tesis. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por su amor incondicional, constante apoyo y sacrificio. Han sido mi roca durante todo este proceso, brindándome aliento y motivación en cada paso que he dado. Su confianza en mí y su dedicación han sido la fuerza impulsora detrás de mis logros académicos.

A mi familia extendida, quiero agradecerles por su cariño, comprensión y aliento constante. Sus palabras de ánimo y su apoyo incondicional me han dado la fuerza para superar los desafíos y obstáculos que se presentaron en el camino. Agradezco su presencia en mi vida y su constante respaldo en cada etapa de mi formación académica.

También quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis, ING. PATRICIA PALACIOS ROMERO, M.Sc. Su experiencia, sabiduría y orientación fueron invaluable para el éxito de este trabajo. Su paciencia, dedicación y compromiso con mi crecimiento académico me han ayudado a desarrollar mis habilidades de investigación y a superar los desafíos que encontré en el camino. Agradezco sinceramente su tiempo, esfuerzo y su apoyo constante.

Con amor y gratitud eternos,

Brian Eduardo Lema Legarda.

INDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMEINTO	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE DE CONTENIDOS	v
INDICE DE FIGURAS	viii
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE ECUACIONES	x
RESUMEN:	xii
ABSTRACT:	xii
Introducción:	1
Antecedentes	2
Justificación.	3
Objetivos:	4

Objetivo general:	4
Objetivos específicos:.....	4
Capitulo I. Obtención de los datos.....	5
1.1 Localización Geográfica.....	5
1.2 Levantamiento de información de la zona.....	6
1.3 Catastro de alcantarillado municipal:	6
1.4 Servicios básicos e infraestructura existentes:.....	6
Capitulo II. Consideraciones de diseño	8
2.1 Parámetros de diseño.....	8
2.1.1 Población.....	8
2.1.2 Dotación.....	9
2.1.3 Coeficiente de aporte de agua residual.....	10
2.1.4 Factor de Mayoración.	11
2.2 Criterios de Diseño.....	12
2.2.1 Velocidad.....	12
2.2.3 Pendiente.....	12
2.2.4 Diámetros.....	13
2.2.5 Profundidad de los Pozos.....	13

2.3 Alcantarillado Sanitario.....	13
2.3.1 Caudal de aguas residuales (Qas).....	14
2.3.2 Caudal de aguas industriales	14
2.3.3 Caudal de aguas por infiltración	15
2.3.4 Caudal por conexiones ilícitas	16
2.4 Alcantarillado Pluvial.....	16
2.4.1 Caudal de diseño	17
2.4.2 Coeficiente de Escorrentía	17
2.4.3 Intensidad.....	20
2.4.4 Tiempo de concentración	21
2.4.5 Periodo de retorno.....	21
Capítulo III. Modelación Hidráulica.....	22
3.1 SWMM.....	24
3.1.1 Parámetros del SWMM.....	25
3.2 Evaluación del modelo en SWMM	28
3.2.1 Diámetro de las tuberías.....	28
3.2.2 Pendientes en la red de alcantarillado.	29
3.2.3 Pozos.....	30
3.2.4 Caudal.	33

3.2.5 Capacidad.....	34
3.2.6 Velocidad.....	40
Capitulo IV. Propuesta de Mejoras.....	45
Capitulo V. Conclusiones.....	50
Bibliografía:.....	52
Anexos:.....	53

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Ubicación Geográfica.....	5
FIGURA 2. Parroquias urbanas y rurales de cuenca	5
FIGURA 3. Área de aporte para el sistema Pluvial.	18
FIGURA 4. Red de alcantarillado y pozos evaluados.	19
FIGURA 5. Mapa de diámetros de las tuberías en el sistema de alcantarillado.	31
FIGURA 6. Mapa de pendientes en el sistema de alcantarillado.....	32
FIGURA 7. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 3 años.	36
FIGURA 8. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años.	37

FIGURA 9. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años.	38
FIGURA 10. Perfil del Colector Principal de la red de alcantarillado evaluada.	39
FIGURA 11. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 3 años.	42
FIGURA 12. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años.	43
FIGURA 13. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años.	44
FIGURA 14. Mapa de propuestas de mejoras del sistema de alcantarillado colector principal.	47
FIGURA 15. Mapa de la capacidad– propuesta de mejoras el sistema de alcantarillado.	48
FIGURA 16. Mapa de la velocidad- propuesta de mejoras el sistema de alcantarillado.	49

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Censos realizados en el casco urbano de la ciudad de cuenca.	8
TABLA 2. Calculo actual de la población en el casco urbano de la ciudad de cuenca.	9

TABLA 3. Dotaciones Netas y Brutas para las zonas Urbana Consolidada, Centros Parroquiales y Rural.....	10
TABLA 4. Estudios realizados para los sistemas de alcantarillado de varios sectores de la ciudad de Cuenca.....	15
TABLA 5. Coeficientes de escorrentía para diferentes áreas.....	20
TABLA 6. Factores según el periodo de retorno a evaluar	20
TABLA 7. Período de retorno según se especifica	21
TABLA 8. Diámetros y Longitudes de las tuberías del modelo evaluado.....	29
TABLA 9. Alturas de los pozos del sistema de Alcantarillado.....	30
TABLA 10. Caudales registrados para diferentes tiempos de intensidad y perdidos de retorno.....	33
TABLA 11. Velocidades del colector principal para los diferentes periodos de retorno.....	40

INDICE DE ECUACIONES

ECUACION 1. Tasa de crecimiento del método geométrico.....	9
ECUACION 2. Población futura utilizando la formula del crecimiento poblacional compuesto.....	9
ECUACION 3. Coeficiente K de mayoración para el cálculo de caudal de aguas residuales.....	12

ECUACION 4. Fórmula para el caudal de aguas residuales	14
ECUACION 5. Caudal de diseño método Racional.....	17
ECUACION 6. Intensidad de lluvia	20

RESUMEN:

El presente estudio está orientado a la modelación hidráulica del alcantarillado combinado de la Calle Pío Bravo, de la ciudad de Cuenca, con el propósito de evaluar el sistema de drenaje sanitario hidrosanitario y pluvial de la comunidad urbana. Se han modelado las condiciones actuales de la red usando el software SWMM ante escenarios de lluvias intensas con diferentes periodos de retorno considerando los criterios de diseño actualizados que rigen en la ciudad. Para este propósito se utiliza la información catastral e hidrológica suministrada por la Empresa ETAPA E.P. Consecuentemente, se estudia el rendimiento del sistema existente, sus puntos de falla y se proponen mejoras al sistema de alcantarillado.

Palabras clave: alcantarillado, evaluación, modelación, pluvial, sanitario.

ABSTRACT:

The present study is oriented to the hydraulic modeling of the combined sewer system of Pío Bravo Street, in the city of Cuenca, to evaluate the sanitary and storm drainage system of the urban community. The current conditions of the network have been modeled using SWMM software under scenarios of intense rainfall with different return periods considering the updated design criteria in force in the city. For this purpose, the cadastral and hydrological information provided by ETAPA E.P. is used. Consequently, the performance of the existing system, its failure points and proposed improvements to the sewerage system are studied.

Keywords: evaluation, modeling, sanitary., sewer, stormwater



Este certificado se encuentra en el repositorio digital de la Universidad del Azuay, para verificar su autenticidad escanee el código QR

Introducción:

Miles de millones de personas en todo el mundo siguen careciendo de acceso al agua, el saneamiento y la higiene. Alrededor de 2.200 millones de personas en todo el mundo no cuentan con servicios de agua potable gestionados de manera segura, 4.200 millones de personas no cuentan con servicios de saneamiento de manera segura (UNICEF y la Organización Mundial de la Salud).

Desde el punto de vista sanitario las aguas negras y pluviales son desechos originados por la actividad vital de la población y por la lluvia. En su composición se encuentran sólidos orgánicos disueltos y suspendidos que son causa de putrefacción, también son fuentes de parásitos e insectos que afectan principalmente a ancianos y niños de temprana edad (Jumapac).

Si bien unos 2.100 millones de personas lograron acceso a instalaciones de saneamiento mejoradas desde 1990, cerca de 2.400 millones de personas aún no lo tienen y 1.000 millones todavía practican la defecación al aire libre (UNESCO, 2017). Las enfermedades diarreicas son la tercera causa de muerte entre menores de cinco años. Se calcula que más de 340 000 niños menores de cinco años mueren anualmente por enfermedades diarreicas debidas a un saneamiento deficiente. Son casi 1000 niños al día (OMS, 2015).

El menester de desarrollo y de un mejor estilo de vida para los miembros de la sociedad, van enlazados con proyectos que pretenden mejorar y promover cambios positivos e inmediatos en la forma de vida. Los sistemas de alcantarillado sanitario son usados para evacuar aguas residuales domésticas e industriales que contienen ciertos compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden ser fatales en ciertas concentraciones, por ejemplo, la exposición a bajas concentraciones de sulfuro de hidrógeno (H₂S) puede causar dolores de cabeza, náuseas e irritación ocular, pero puede causar la muerte en concentraciones de 0,02% en el aire durante varios minutos.

Por otra parte, un sistema de alcantarillado pluvial es el encargado de captar el agua lluvia y derivarla a un cuerpo receptor. Reduciendo los costos de tratamiento,

operación y mantenimiento, lo cual hace más costoso para el periodo de diseño una red unitaria, respecto a redes separadas (Arocha, 1983).

Los habitantes que militan en la calle Pio Bravo y sus alrededores, cuentan con los servicios básicos como luz eléctrica agua potable, y un sistema de alcantarillado por lo que se ha optado por realizar una propuesta de rediseño del sistema de alcantarillado de la zona en estudio, tomando en cuenta nuevos parámetros y datos poblacionales que han cambiado al pasar del tiempo, lo cual proporcionará una mejor calidad de vida y mejorará notablemente la salubridad de la zona.

Este trabajo de título comprende la investigación, el diseño, los cálculos también incluye el estudio de las características, limitaciones de los factores de diseño que determinan las propiedades de la zona, y contiene la información necesaria para mitigar los efectos del sistema de aguas residuales.

Antecedentes

Lo que hoy es Cuenca, tanto los servicios de agua potable y alcantarillado como sus viviendas y edificaciones, viene desde tiempos muy remotos, desde la civilización cañari, inca y española. Quienes, para solventar los menesteres de las actividades cotidianas, formaron amplias redes con numerosas troneras y acueductos que generalmente fueron construidas en el subsuelo y cubiertas por piedras talladas y tierra. (León, 1983).

Debido al crecimiento paulatino y las necesidades que este acarrea, se inicia con la dotación de servicios básicos como: luz eléctrica, agua potable, alumbrado, salubridad de las calles, etc. Se principia adquiriendo en 1924, la primera planta de agua potable. Además, se provee de una planta eléctrica, instalación de telefonía, adoquinamiento de las calles, etc., y la creación de ETAPA como una institución que satisface la implementación de nuevas técnicas. (Novillo, 2010).

La actual calle Pío Bravo denominada antaño Calle Ayacucho recibió este nombre para recordar el lugar en el que el general José Antonio de Sucre libró la batalla que selló la Independencia americana. En 1930, tomó el nombre de Tomas Heres, en homenaje al militar colombiano que actuó en las guerras de Independencia.

Posteriormente, en 1961, tomó el nombre de Pío Bravo, en honor del jurisperito cuencano, defensor de los derechos democráticos.

Justificación

El alcantarillado combinado es un sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.

El sistema de alcantarillado actual que está funcionando en la zona de estudio fue diseñado hace ya algunos años por lo que requiere una actualización de los estándares de diseño más actuales, puesto que, el crecimiento de la población, su proliferante crecimiento comercial y sumado al incremento de aguas lluvias en los últimos años causadas por el cambio climático, así como por diversos factores, hacen necesario el uso de nuevas metodologías que prevén ser aplicadas mediante una propuesta de diseño.

El proyecto a realizarse tiene un enfoque social, puesto que, servirá para los moradores de dicho sector ya que nos ayudara a obtener datos que posteriormente serán analizados y nos brindaran conclusiones del actual sistema.

Hoy por hoy en zonas de alto impacto comercial, social y económico, se hace indispensable un sistema óptimo de recolección de aguas servidas, así como también de aguas lluvias ya que, si el sistema no está en correcto mantenimiento, funcionamiento, esto repercutirá en sus moradores, en su economía e inclusive generará problemas ambientales y de salud pública.

Para la elaboración del presente trabajo la Universidad del Azuay proveerá el catastro de la zona en cuestión para la realización del proyecto, el estudio permitirá obtener los caudales generados por escorrentía, así como también los de diseño de alcantarillado, y por ende generar una base histórica que a futuro será muy útil para estudios posteriores, una apología de presente trabajo radica en conocer, entender, visualizar y contextualizar el sistema de red evaluado, para con la ayuda de nuevas tecnologías de modelación hidrosanitaria, proyectar, prevenir y mejorar el modelo vigente.

Sistemas actuales de software nos permitirán proyectar el modelo actual en un formato digital para un mejor entendimiento y dimensionamiento del mismo, que nos indica cuales podrían ser los tramos de red más expuestos a fallas, y por ende llegar a ciertas conclusiones y razonamientos, sobre normas de estudio de sistemas de alcantarillado.

El presente trabajo de titulación es importante porque puede contribuir con el desarrollo social, económico e industrial de la zona trabajada entre las calles Pío Bravo, Calle Larga, Tarqui y Av. Huayna Cápac, de igual manera se espera que a partir de la elaboración de este anteproyecto se formen las bases científicas que puedan llevar a cabo un proyecto que contribuya al mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores.

Según informe de la organización mundial de la salud (OMS) el saneamiento ambiental puede reducir la incidencia de enfermedades infecciosas entre el 20% y el 80% a través de inhibición de la generación de enfermedades y la interrupción de su transmisión, analizando estas circunstancias con la propuesta de diseño del sistema de alcantarillado sanitario con esto se pretende disminuir los problemas ambientales que conllevan las corrientes y estancamientos de aguas negras en las calles y cunetas, que ayude a disminuir las enfermedades producto de dichas aguas, y que se incremente el nivel de vida de la población.

Objetivos:

Objetivo general:

- Evaluar el sistema de alcantarillado sanitario y pluvial de la calle Pío Bravo, en la ciudad de Cuenca, y en base a los resultados plantear una alternativa de mejora para la red actual.

Objetivos específicos:

- Evaluar el sistema existente de alcantarillado a través de un modelo y comparar el sistema físico actual con el modelo obtenido.
- Realizar el diseño de alternativas de mejora.

Capítulo I. Obtención de los datos

1.1 Localización Geográfica

La calle Pío Bravo se encuentra ubicada en la zona céntrica perteneciente al cantón Cuenca provincia del Azuay al sur del Ecuador, en las coordenadas $2^{\circ}53'27.1$ longitud Sur y $79^{\circ}03'13.9$ longitud Oeste, a una altura media de 2558 metro sobre el nivel de mar, con una superficie de Ha, misma que representa un 0.06%, de la superficie de la parroquia urbana Bellavista. Con una temperatura promedio de 14° a 19° Celsius. Esta zona es caracterizada por ser principalmente comercial, la parte residencial es moderada, posee ciertas zonas verdes y la calle es adoquinada.



FIGURA 1. Ubicación Geográfica.

Fuente: Google Earth.



FIGURA 2. Parroquias urbanas y rurales de cuenca

Fuente: Go Raymi

1.2 Levantamiento de información de la zona

El levantamiento de información en el diseño sanitario implicó la recopilación, análisis, documentación de datos e información relevante para comprender las necesidades, y requerimientos del proyecto de infraestructura sanitaria.

La recopilación de datos sobre la topografía del terreno, la población, demanda del servicio, datos específicos del sitio, geológicos y otros estudios técnicos que son necesarios para comprender las características del sitio y su influencia en el diseño sanitario. Se analizó la información existente, como datos históricos, estudios previos, registros de operación y mantenimiento, y otros datos relevantes para el proyecto. Esto incluyó la revisión de planos, especificaciones técnicas, informes de monitoreo y otros documentos relacionados, los cuales fueron proporcionados por Etapa EP.

Se identificaron y evaluaron los riesgos y desafíos potenciales asociados con los proyectos de saneamiento, como los riesgos geotécnicos, los riesgos de contaminación del agua, los riesgos de inundaciones y otros riesgos relacionados. Esto ayuda a reducir el riesgo y garantiza la sostenibilidad y seguridad del proyecto. Toda la información recopilada y analizada está clara y completamente documentada en informes técnicos, planos, especificaciones y otros documentos relevantes, que son la base para el rediseño sanitario y una toma de decisiones informada.

1.3 Catastro de alcantarillado municipal:

En la zona se ha determinado que los diámetros de las tuberías oscilan desde los 300mm a 600mm de diámetro para el alcantarillado mixto, también se identificó que las pendientes entre los pozos varían desde los al 2% al 5%.

1.4 Servicios básicos e infraestructura existentes:

En el Cantón Cuenca, la dotación de los servicios de agua potable y saneamiento se encuentra principalmente a cargo de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca

(ETAPA EP) que abastece a la mayor parte de las áreas urbanizadas del Cantón. Los territorios rurales que no llegan a ser atendidos por la red pública se abastecen a través de sistemas alternativos que no necesariamente aseguran la calidad del servicio, pero sí el acceso al agua de consumo humano. El PUGS plantea que las mejoras para el sistema en cuanto a calidad y cobertura de la dotación de servicios de agua y saneamiento se enmarquen en la propuesta de desarrollo y los estándares adoptados para asegurar una calidad de vida. Sin embargo, para el caso de las áreas rurales cuyo abastecimiento en la mayor parte se realiza a través de las Juntas de agua, su dotación y mantenimiento del sistema es complejo, por razones de distancia y geografía, estos estándares se encuentran condicionados a factores económicos, sociales y culturales que requieren estudios para analizar sistemas y desarrollar tecnologías alternativas que aseguren, por lo menos, la salubridad de los servicios. (Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cuenca).

Se reconoce la localización de equipamientos cantonales como los de aprovisionamiento (Mercado de transferencia de víveres, Centro de faenamiento, plaza de ganado); bienestar social (centro de manejo animal, cementerio); parques cantonales o regionales; infraestructura (terminal de transferencia de basura, patio de maniobras, planta de tratamiento de agua residual); que fueron realizados considerando dimensionamiento del terreno (cumpliendo el área adecuada para el desarrollo del proyecto), principales puntos de accesibilidad y movilidad, vías existentes o planificadas que tengan características para el flujo de vehículos pesados y de principales desplazamientos hacia la ciudad y desde otras partes del cantón o región; servicios básicos principalmente para la cobertura de agua potable y tratamiento de aguas servidas; características y compatibilidad de usos y ocupación de suelo que estos territorios tengan características ambientales aptas para receptor estos usos y que estén dentro de zonas de baja o alta densidad dependiendo del tipo de equipamiento; así como consideraciones adicionales tomados en cuenta a partir de la particularidad de cada equipamiento, comprendiendo que pueden necesitar una condición especial identificada por los administradores de estos equipamientos.(Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Cuenca).

En la calle de estudio se cuenta con los servicios básicos, aquellos como el suministro de agua potable, la disposición adecuada de aguas residuales y desechos sólidos, la energía eléctrica, el transporte público, la comunicación, la atención médica y otros servicios esenciales para la vida diaria y necesarios para satisfacer las necesidades humanas básica

Capitulo II. Consideraciones de diseño

2.1 Parámetros de diseño.

Los parámetros de diseño son las características físicas y operativas que se consideran para determinar la capacidad, el tamaño y la configuración óptima del sistema de alcantarillado.

2.1.1 Población.

En lo que se refiere a la población del proyecto, se presentan los datos consolidados del estudio poblacional, la población de la denominada área consolidada, de las cabeceras parroquiales y de las zonas especiales en las que ha sido dividida el área del proyecto. Según el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEC, los últimos censos realizados en el casco urbano del cantón cuenca arrojaron los siguientes datos.

TABLA 1. Censos realizados en el casco urbano de la ciudad de cuenca.

	1990	2001	2010
Cuenca Urbana	198390	278995	331888

Fuente: INEC

Por lo que se procedió a calcular una tasa de crecimiento con los datos obtenidos mediante la fórmula del método geométrico:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{t}}$$

ECUACION 1. Tasa de crecimiento del método geométrico.

Y se obtuvo una tasa de 1,95% crecimiento anual para el casco urbano de la ciudad de Cuenca, con este dato se realizó una proyección para el año actual, mediante la siguiente fórmula:

$$Pf = Puc \cdot (1 + r)^t$$

ECUACION 2. Población futura utilizando la fórmula del crecimiento poblacional compuesto

TABLA 2. Cálculo actual de la población en el casco urbano de la ciudad de Cuenca

	1990	2001	2010	2020	2023
Cuenca Urbana	198390	278995	331888	402498	426477

Fuente: Elaboración propia

- **Pf:** Población Futura
- **Puc:** Población del último censo
- **r:** Tasa de crecimiento
- **t:** Periodo de diseño (año del último censo - año del censo inicial)

De esta manera con el cálculo de la población actual y el área del casco urbano de la ciudad de Cuenca se obtuvo la densidad poblacional actual.

Densidad poblacional (hab/ha): 60,42 hab/ha.

2.1.2 Dotación.

La dotación para sistemas de alcantarillado se refiere a la cantidad de agua que se estima que será utilizada por los usuarios de un sistema de alcantarillado durante un período de tiempo determinado. Esta cantidad de agua se utiliza para diseñar y dimensionar el sistema de alcantarillado, incluyendo las tuberías, los pozos de

inspección, las estaciones de bombeo y otras infraestructuras necesarias para transportar las aguas residuales desde los hogares y edificios hasta la planta de tratamiento o el lugar de descarga final.

La dotación para sistemas de alcantarillado puede variar según varios factores, como el tamaño y la densidad de la población que utiliza el sistema, el clima y las prácticas de uso del agua en la zona. Por lo tanto, es importante realizar estudios detallados y análisis para determinar la dotación adecuada para un sistema de alcantarillado específico, y así garantizar que esté diseñado y construido de manera eficiente y sostenible.

Según los “CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” de la ciudad de Cuenca estimamos nuestra dotación en función de la siguiente tabla.

TABLA 3. Dotaciones Netas y Brutas para las zonas Urbana Consolidada, Centros Parroquiales y Rural.

Zona de Servicio	Dotación Neta l/hab/día	% de Perdidas	Dotación Bruta l/hab*día
Urbano Consolidado y Zonas Especiales	247,5	25	330
Centros Parroquiales	150	25	200
Rural	113	25	150

Fuente: Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA.

2.1.3 Coeficiente de aporte de agua residual.

El coeficiente de aporte de agua residual se calcula como la relación entre la cantidad de agua residual generada y la cantidad total de agua utilizada en una

determinada área durante un período de tiempo determinado. Este valor depende de varios factores, como el tipo de actividades que se realizan en la zona, el número de personas que utilizan el agua, las prácticas de uso del agua en la zona y la eficiencia de los sistemas de plomería y saneamiento.

Los “CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” de la ciudad de Cuenca establecen que los valores varían entre 0,80 y 0,90 dependiendo de la zona. Para las urbanas y zonas especiales, el coeficiente es de 0,80 debido a una mayor utilización del agua con fines no domésticos, en las dispersas y en los centros parroquiales el porcentaje es de 0,90.

Para el presente proyecto se usará 0,8, puesto que es una zona urbana consolidada y de alta densidad poblacional esto afecta en el uso del agua para fines hogareños, familiares, etc.

2.1.4 Factor de Mayoración.

El factor de mayoración es un coeficiente utilizado en el diseño de estructuras hidráulicas para tener en cuenta la incertidumbre en la predicción de caudales máximos y minimizar el riesgo de fallas o desbordamientos. Este factor se aplica a los caudales estimados para eventos hidrológicos extremos (por ejemplo, lluvias intensas) con el fin de obtener un caudal de diseño que sea lo suficientemente grande para garantizar la seguridad de la estructura.

Es importante tener en cuenta que el factor de mayoración es un coeficiente de seguridad y que su aplicación implica un costo adicional en el diseño y construcción de la estructura hidráulica. Sin embargo, su uso es necesario para garantizar que la estructura pueda manejar cargas hidráulicas extremas y proteger la vida humana y la propiedad.

Ahora bien, las “ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.”, determinan este factor mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{2,228}{Q^{0.073325}}$$

ECUACION 3. Coeficiente K de mayoración para el cálculo de caudal de aguas residuales.

2.2 Criterios de Diseño.

Los parámetros de diseño son las características físicas y operativas que se consideran para determinar la capacidad, el tamaño y la configuración óptima del sistema de alcantarillado.

2.2.1 Velocidad.

La velocidad máxima para colectores, está relacionada tanto con el material de la tubería como de las características de las aguas a transportarse y de un factor relacionado con la seguridad del personal a cargo del mantenimiento del sistema.

El diseño de los colectores se realizará en función de la ecuación de Manning y de acuerdo con las siguientes especificaciones técnicas de ETAPA:

Para hormigón se usará:

- Velocidad máxima: 5 m/s
- Velocidad mínima: 0,45 m/s

2.2.3 Pendiente.

La pendiente mínima según los “CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO” de la ciudad de cuenca tendrán como mínima al 2%.

2.2.4 Diámetros.

La sección transversal de la alcantarilla debe ser lo suficientemente grande para transportar el caudal máximo, teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos y el tipo de flujo (superficial o en régimen crítico).

El diámetro mínimo de acuerdo a la normativa de las “ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.” Es de 300mm.

Se aceptarán como diámetros nominales los diámetros comerciales según se especifican: 300, 400, 500, 600. Y para tuberías fabricadas en sitio las siguientes: 700, 800, 900, 1000, 1200,1400, 1500 y 2000 mm.

2.2.5 Profundidad de los Pozos.

Se establece en los “CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO”, un relleno máximos y mínimos sobre la clave de las tuberías de:

- Relleno máximo: 4.5 m sobre la clave de la tubería.
- Relleno mínimo: 1.0 m sobre la clave de la tubería.

2.3 Alcantarillado Sanitario.

A la hora de establecer un proyecto para un sistema de alcantarillado sanitario, es indispensable la determinación del caudal a evacuar. Una vez el agua se ha utilizado, es necesario su deposición para lo cual tenemos que conducirla a una red de alcantarillado, y su caudal estará determinado por la dotación y suministro de agua potable, por lo tanto, el cálculo de este caudal de diseño (Q_d) estará en función de:

- **Q_{as}**: Caudal de aguas residuales, proveniente de casas, centros educativos, edificaciones comerciales, etc.
- **Q_{ind}**: Caudal de aguas industriales provenientes de desechos industriales.

- **Qi:** Caudal de aguas por infiltración, proveniente de la invasión de agua presente en el subsuelo hacia la tubería
- **Qili:** Caudal de conexiones ilícitas, se deben a conexiones inadecuadas, conexiones incorrectas, conexiones ilegales y la entrada a través de alcantarillas de inspección.

2.3.1 Caudal de aguas residuales (Qas)

El caudal de aguas residuales en las viviendas se refiere a la cantidad de agua que se descarga en el sistema de alcantarillado desde los hogares, y está relacionado con el caudal del suministro de agua potable. El agua utilizada para fines como el riego de jardines, la limpieza del hogar o el lavado de vehículos no se canaliza al sistema de alcantarillado, por lo que el caudal del suministro de agua potable se ve afectado por un coeficiente de retorno previamente definido de 0.8. Para calcular el caudal domiciliario, se utiliza la ecuación:

$$QAS = R . P . D . M$$

ECUACION 4. Fórmula para el caudal de aguas residuales

- P = Población.
- D = Dotación per-cápita de consumo de agua potable (247,5 lt/hab/día).
- R = Coeficiente de aporte de agua residual = 0.8
- M = Factor de Mayoración $2.228/(Q^{0.073325})$

En todo caso el caudal mínimo de pico será de 2.2 l/s en los tramos de cabeza, correspondiente a la descarga de un inodoro.

2.3.2 Caudal de aguas industriales

Es el caudal correspondiente a aportes especiales como son: fabricas, industrias, centros comerciales, instituciones públicas, hoteles, entre otros (Ruiz, 2011). En el sitio de estudio, no existen estos aportes.

2.3.3 Caudal de aguas por infiltración

El caudal por infiltración se refiere a la cantidad de agua que ingresa a la red de alcantarillado a través de fugas o filtraciones en las tuberías o en las juntas de las mismas. Este caudal se puede determinar mediante diversas técnicas y métodos de medición, aunque no es una tarea sencilla debido a la naturaleza aleatoria de las infiltraciones y fugas.

En investigaciones llevadas a cabo sobre los sistemas de alcantarillado de diversos sectores de la ciudad de Cuenca, los autores han utilizado valores para el flujo de infiltración que se encuentran dentro del rango recomendado en la literatura, los cuales se describen de manera resumida.

TABLA 4. Estudios realizados para los sistemas de alcantarillado de varios sectores de la ciudad de Cuenca.

ESTUDIO	CONSULTOR A	CAUDAL DE INFILTRACION l/s/Km	OBSERVACIONES
Estudios de factibilidad de la segunda fase del plan maestro. (2000)	Louis Berger & Hazen and Sawyer	1,18	Tomado del estudio del plan Maestro 1984.
Diseño del sistema de interceptores, 1986	ACSAM	1	Todo el proyecto
Estudios de factibilidad de la segunda fase del plan maestro. (2000)	Louis Berger & Hazen and Sawyer	0,73	Medio en Ucubamba
Alcantarillado del Valle	Consultpiedra	0,24	Área del proyecto
Alcantarillado de Sayausí	Consultpiedra	0,15	Sectores colinados
Alcantarillado de Sayausí	Consultpiedra	0,2	Parte baja

Fuente: Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador) II ETAPA.

Para el proyecto de estudio actual este caudal estará en función de la longitud de la tubería por tanto $Q_i = 1$ l/s/Km, se asumirá la infiltración de un litro de agua por cada 1000 metros/1 kilómetro.

2.3.4 Caudal por conexiones ilícitas

El caudal por conexiones ilícitas se refiere a la cantidad de agua que ingresa al sistema de alcantarillado de manera ilegal o no autorizada, a través de conexiones clandestinas o fraudulentas en las tuberías.

La determinación del caudal por conexiones ilícitas puede resultar complicada debido a la naturaleza clandestina de estas conexiones, que a menudo se realizan de manera subterránea o en lugares inaccesibles.

Su caudal puede estar en el orden del 5 al 10% del caudal máximo horario de aguas residuales (Cepis, 2005). En lo relativo al caudal de aguas ilícitas en la ciudad de Cuenca según las “ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.” Este será igual a:

Q_{ilic} = 115 l/hab/día (conexiones erradas)

2.4 Alcantarillado Pluvial

El alcantarillado pluvial es el sistema de tuberías, canales y estructuras diseñadas para la recolección y transporte de aguas pluviales o de lluvia en zonas urbanas. El objetivo principal del alcantarillado pluvial es evitar que las aguas de lluvia generen inundaciones y causen daños en las propiedades y la infraestructura urbana.

El alcantarillado pluvial se compone de una red de tuberías subterráneas que recogen las aguas de lluvia en la superficie y las transportan hacia lugares seguros de disposición, como ríos, lagos o sistemas de retención de aguas pluviales. En algunos casos, el agua de lluvia se utiliza para riego o se infiltra en el suelo para recargar los acuíferos.

El diseño del alcantarillado pluvial se basa en el cálculo de los caudales de lluvia que se esperan en la zona, así como en la topografía y las características hidrológicas del terreno.

2.4.1 Caudal de diseño

El método Racional es una técnica utilizada para estimar el caudal máximo que puede producir una precipitación en una cuenca hidrográfica. Este método es aplicable para cuencas pequeñas, de hasta 1 km², que no presenten complejidades importantes.

Este método fue introducido en 1889 y ha sido ampliamente utilizado en la región debido a su simplicidad y facilidad de aplicación.

$$Qd = \frac{C \cdot i \cdot A}{0,36}$$

ECUACION 5. Caudal de diseño método Racional

- Q = Caudal (l/s)
- C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)
- i = Intensidad de la lluvia (mm/h)
- A = área de la cuenca de aporte (ha)

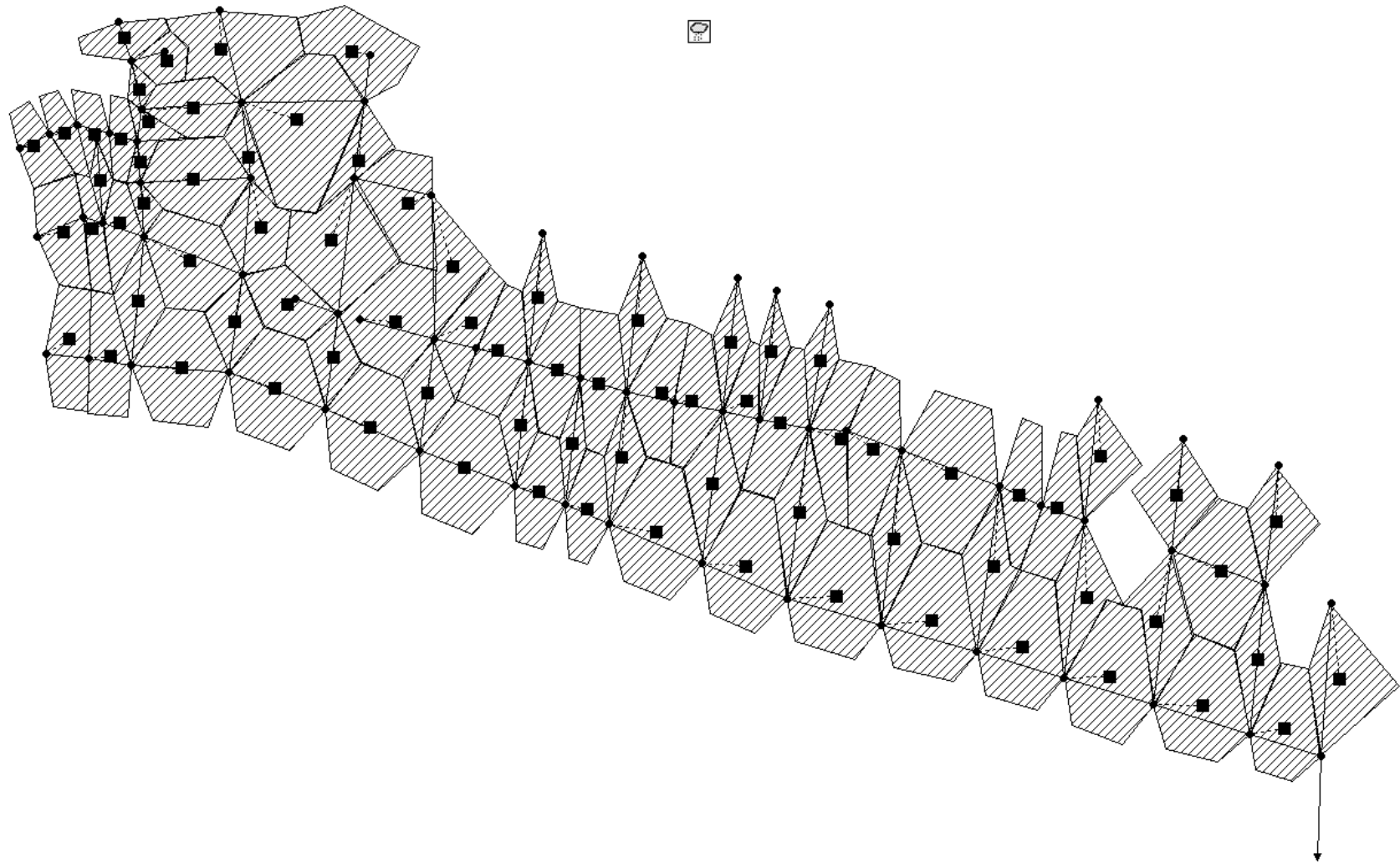
2.4.2 Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía es un parámetro utilizado en hidrología para estimar la cantidad de agua que se escurre sobre la superficie del terreno y que llega a un determinado punto de la cuenca hidrográfica, en relación a la cantidad de agua que cae sobre esa misma superficie en forma de lluvia.

Este coeficiente se expresa como un número decimal entre 0 y 1, y representa la fracción de la precipitación que se convierte en escorrentía, es decir, en agua que fluye por la superficie del terreno y llega a los cauces de la cuenca hidrográfica. El coeficiente de escorrentía depende de varios factores, como la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal, la topografía y la intensidad de la lluvia, entre otros.

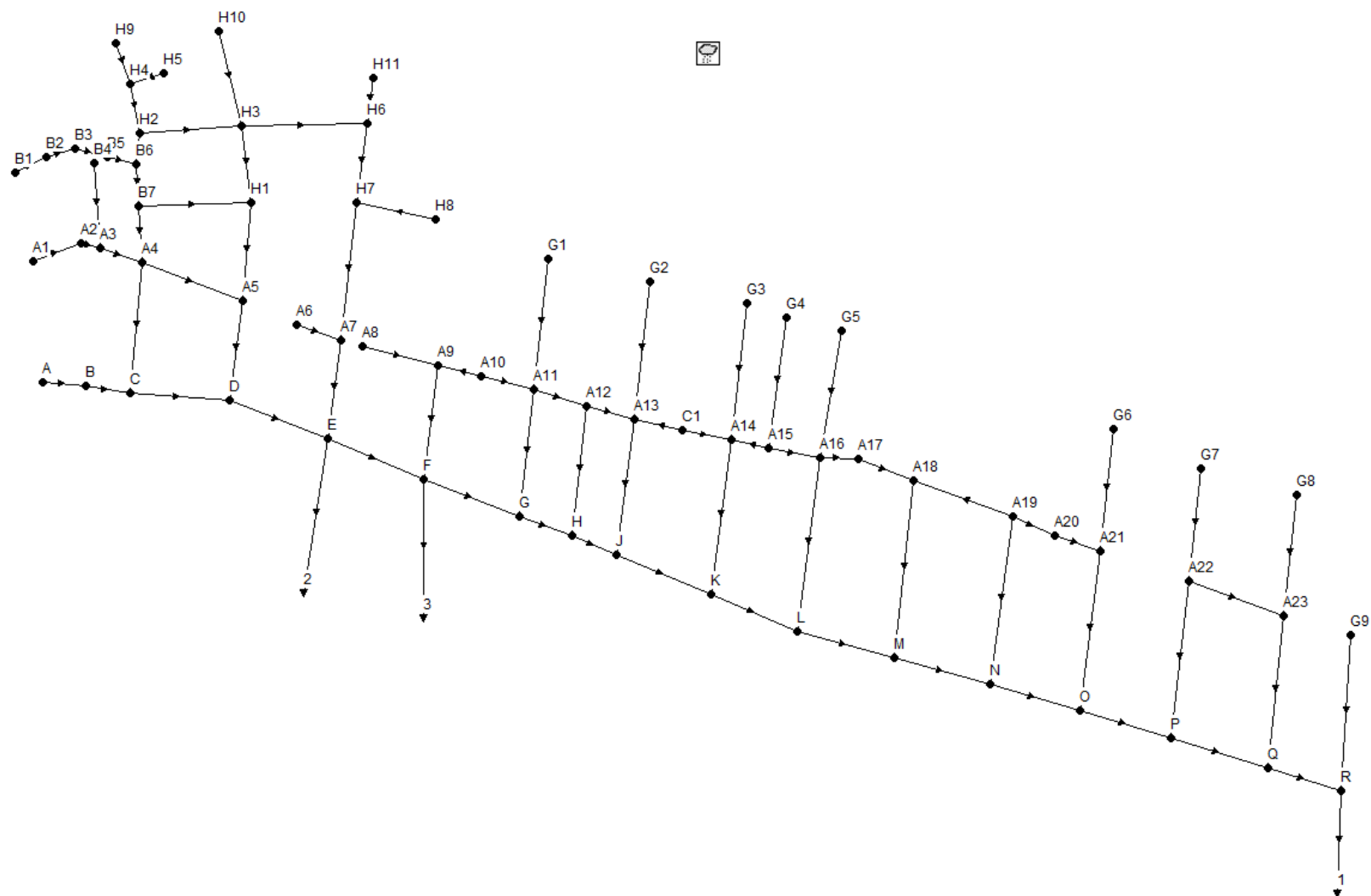
Para el proyecto de estudio actual se determinó las áreas de aporte para cada tramo de alcantarillado.

FIGURA 3. Área de aporte para el sistema Pluvial.



Fuente: Elaboración propia

FIGURA 4. Red de alcantarillado y pozos evaluados.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez analizada la topografía de la zona se estableció 3 coeficientes de escorrentía predominantes en dicha área.

TABLA 5. Coeficientes de escorrentía para diferentes áreas

AREA	C(ESCORRENTIA)
Área adoquinada	0,8
Área verde	0,2
Área residencial	0,95

Fuente: Especificaciones técnicas de diseño de redes de alcantarillado para la ciudad de cuenca.

2.4.3 Intensidad.

La intensidad de la lluvia se refiere a la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un área determinada. Se mide en milímetros por hora (mm/h) o en pulgadas por hora (in/h). La intensidad de la lluvia puede variar desde llovizna, lluvia ligera, moderada hasta fuerte y torrencial.

Es importante tener en cuenta que la intensidad de la lluvia puede variar en diferentes lugares, ya que depende de factores como la ubicación geográfica, la temporada, la topografía y el clima local.

$$I = \frac{A}{(t + C)^B}$$

ECUACION 6. Intensidad de lluvia

TABLA 6. Factores según el periodo de retorno a evaluar

	A	B	C
3	537,9	0,704	4,72
5	525,7	0,671	3,56
10	551,7	0,651	2,98

Fuente: Especificaciones técnicas de diseño de redes de alcantarillado para la ciudad de cuenca.

2.4.4 Tiempo de concentración

Se refiere al tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de un área de drenaje hasta un punto específico, como una boca de tormenta o una estación de bombeo. Es un parámetro importante que se utiliza en el diseño hidráulico de los sistemas de alcantarillado para determinar el tamaño y capacidad adecuados de las tuberías y estructuras.

Para el modelamiento actual del proyecto vamos a considerar un tiempo de concentración (t) de 10 minutos para la ECUACION 6. De la intensidad de lluvia.

2.4.5 Período de retorno.

El período de retorno es una medida utilizada en análisis de riesgos y planificación de inversiones para evaluar la probabilidad de que ocurra un evento particular en un determinado período de tiempo, se refiere al tiempo promedio esperado entre la ocurrencia de eventos de magnitud similar. Esta métrica es especialmente útil en áreas como la gestión de desastres naturales, donde se busca comprender la frecuencia y la gravedad de fenómenos como terremotos, inundaciones o tormentas. Como señala el experto en gestión de riesgos, Peter G. Anderson, "El período de retorno proporciona una estimación cuantitativa de la frecuencia esperada de un evento, lo que permite a los planificadores y tomadores de decisiones evaluar su impacto potencial y tomar medidas preventivas adecuadas".

Sí una estructura se diseña para un período de retorno de 100 años, se espera que sea sobrepasada en promedio 1 vez cada 100 años, lo cual es equivalente a decir que la probabilidad de que en cualquier año (de la vida útil de la estructura) se presente un evento igual o mayor que el de diseño.

TABLA 7. Período de retorno según se especifica

COLECTOR TIPO	ZONA COMERCIAL	ZONA RESIDENCIAL
Secundario	5	3
Primario	10	5

Fuente: Especificaciones técnicas de diseño de redes de alcantarillado para la ciudad de Cuenca.

Para el presente proyecto se modelará inicialmente para un periodo de retorno de 5 años y en función de los resultados evaluaremos la red para los otros periodos de retorno y así valoraremos la capacidad actual y sus posibles fallos.

Capítulo III. Modelación Hidráulica.

La modelación es empleada como un medio para recrear un escenario en menor escala y planificar acciones para hacer frente a los problemas actuales y de largo alcance asociados al agua. Las capacidades técnicas de los modelos varían mucho entre los diferentes temas relacionados con el recurso hídrico, sin embargo, se ha encontrado que los modelos capaces de analizar muchos de los temas relevantes en esta área están actualmente disponibles y tienen un potencial significativo para aumentar la exactitud y la eficacia de la información que se genera para los administradores, tomadores de decisiones y científicos (Friedman 1984).

La modelación hidráulica es una herramienta crucial en la ingeniería civil que se utiliza para predecir el comportamiento del agua y otros fluidos en sistemas hidráulicos complejos, como ríos, lagos, canales, alcantarillas y sistemas de tuberías.

La modelación hidráulica es un proceso que utiliza principios matemáticos y computacionales para simular el flujo del agua y otros fluidos en sistemas hidráulicos. En esencia, se trata de crear un modelo numérico de un sistema hidráulico que pueda utilizarse para predecir cómo se comportará el agua en diferentes situaciones. La modelación hidráulica se basa en las leyes físicas que gobiernan el comportamiento del agua, como la ley de la conservación de la masa y la energía.

La modelación hidráulica es una herramienta versátil utilizada en una amplia gama de aplicaciones relacionadas con el agua. Se utiliza para el diseño de infraestructuras hidráulicas, la evaluación de riesgos de inundación, la gestión de recursos hídricos, el diseño de sistemas de drenaje y la planificación de la gestión de

aguas pluviales. Además, es útil en la predicción de la calidad del agua, la propagación de contaminantes y la evaluación de impacto ambiental.

El uso de un modelo hidráulico ofrece numerosos beneficios y aplicaciones prácticas. Permite el manejo de redes sin requerir grandes conocimientos de mecánica de fluidos, facilitando la toma de decisiones en operación, mantenimiento y ampliación de forma segura y exitosa. Mejora la solidez de la red al evitar instalaciones y desinstalaciones innecesarias, ayudando a determinar la ubicación óptima de depósitos, válvulas y bombas.

Además, la modelación hidráulica se convierte en un valioso instrumento para justificar inversiones o cambios en la red, evitando conflictos sociales y con las autoridades. Permite realizar análisis de la red en simulación estática o extendida, considerando diferentes patrones de demanda en sectores agrícolas, industriales, comerciales y residenciales. Asimismo, posibilita el análisis de la calidad del agua, el tiempo de permanencia y la concentración de sustancias como cloro, calcio y magnesio en la red.

Otras aplicaciones relevantes incluyen el análisis de protección contra incendios, garantizando la disponibilidad de agua para los bomberos, y asegurar el abastecimiento de agua a la población en caso de ampliaciones, manteniendo presiones adecuadas. En resumen, la modelación hidráulica se ha convertido en una herramienta indispensable para el manejo eficiente y seguro de los recursos hídricos en diversas áreas de aplicación.

La importancia de la modelación hidráulica radica en que nos permite simular diferentes escenarios en un sistema hidráulico, sin tener que realizar pruebas costosas y peligrosas en el mundo real. Esto nos permite evaluar la eficacia de diferentes soluciones de diseño y tomar decisiones informadas sobre la gestión de los recursos hídricos. Además, la modelación hidráulica es una herramienta clave para la prevención y mitigación de desastres naturales, como inundaciones.

En resumen, la modelación hidráulica es una herramienta fundamental para la ingeniería civil. Nos permite simular y predecir el comportamiento del agua y otros fluidos en sistemas hidráulicos complejos, lo que nos permite tomar decisiones informadas sobre la gestión de los recursos hídricos y la prevención de desastres naturales.

3.1 SWMM.

A lo largo de los años y con la creación de herramientas informáticas cada vez más innovadoras, se ha hecho indispensable y obligatorio el uso de softwares de modelación, que reflejan cada vez más a la realidad. Es por eso que programas como EPA SWMM, son usados para probar y simular datos de caudales, interactuando con varios elementos, tratando de crearlo lo más cercano a la realidad.

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. (National Risk Management Research Laboratory, 2005).

SWMM se desarrolló por primera vez en 1971, habiendo experimentando desde entonces diversas mejoras. La edición actual, que corresponde a la 5ª versión del programa, es un código reescrito completamente a partir de ediciones anteriores. Funcionando bajo Windows, EPA SWMM proporciona un entorno integrado que permite introducir datos de entrada para el área de drenaje, simular el comportamiento hidráulico, estimar la calidad del agua y ver todos estos resultados en una gran variedad de formatos. Entre estos, se pueden incluir mapas de contorno o isolíneas para el área de drenaje, gráficos y tablas de evolución a lo largo del tiempo, diagramas de perfil y análisis estadísticos de frecuencia. (National Risk Management Research Laboratory, 2005).

El SWMM representa el comportamiento de un sistema de drenaje mediante una serie de flujos de agua y materia entre los principales módulos que componen un análisis medioambiental. Estos módulos y sus correspondientes objetos de SWMM son los siguientes:

El módulo de escorrentía de SWMM funciona con una serie de sub-cuencas en las cuales cae el agua de lluvia y se genera la escorrentía. SWMM considera distintos procesos hidrológicos que se producen en la salida de las aguas urbanas. Entre estos se encuentran:

- Precipitaciones variables en el tiempo.
- Evaporación de las aguas superficiales estancadas.
- Acumulación y deshielo de nieve.
- Intercepción de precipitaciones por almacenamiento en depresiones.
- Infiltración de las precipitaciones en capas del suelo no saturadas.
- Entrada del agua de la percolación.
- Intercambio de flujo entre los acuíferos y el sistema de transporte.
- Modelo de depósitos no lineales para el flujo superficial.
- El módulo de transporte 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.

Con SWMM, los ingenieros pueden modelar la interacción entre el agua y las estructuras hidráulicas, como tuberías, conductos y sumideros, y también pueden evaluar diferentes estrategias de control de aguas pluviales, como la construcción de cuencas de retención y la utilización de techos verdes y pavimentos permeables.

3.1.1 Parámetros del SWMM

El programa SWMM utiliza una amplia gama de parámetros para modelar el comportamiento de los sistemas de drenaje urbano. A continuación, se presentan algunos de los parámetros más importantes que vamos a utilizar en el SWMM:

En el contexto Hidrológico del SWMM (Storm Water Management Model), el término "número de curva", es un método de aproximación adoptada a partir del denominado número de Curva de NRCS (SCS) para estimar la escorrentía. Se asume así que la capacidad total de infiltración del suelo puede encontrarse en una tabla de Números de Curva tabulados. Durante un evento de lluvia esta capacidad se representa como una función de la lluvia acumulada y de la capacidad de infiltración restante. Los parámetros de entrada para este método son el número de curva, la conductividad hidráulica del suelo (utilizada para estimar un tiempo de separación mínimo entre los distintos eventos de lluvia) y el tiempo que tarda el suelo en saturarse completamente cuando inicialmente era un suelo completamente seco.

Es importante destacar que el número de curva puede variar según el tipo de superficie considerada. Por ejemplo, el número de curva para una zona residencial podría ser diferente al número de curva para un área industrial o un área vegetada. También es común utilizar diferentes valores de número de curva para distintas etapas de desarrollo de una cuenca, reflejando los cambios en la permeabilidad del suelo y el uso de la tierra.

En resumen, el número de curva en el SWMM es un parámetro utilizado para estimar la cantidad de escorrentía generada durante un evento de lluvia y se utiliza como parte del modelo hidrológico para simular el comportamiento del sistema de drenaje urbano.

En Hidráulica el SWMM utiliza modelos hidráulicos para simular el flujo de agua en tuberías, conductos, sumideros y otros componentes del sistema de drenaje urbano. Los parámetros hidráulicos incluyen la longitud y el diámetro de las tuberías, la pendiente, el coeficiente de rugosidad y las alturas de entrada y salida de los sumideros.

Estos son solo algunos de los parámetros que utiliza el programa SWMM para modelar el comportamiento de los sistemas de drenaje urbano. El programa también cuenta con una amplia gama de herramientas de análisis para evaluar la efectividad de diferentes estrategias de control de tormentas y la calidad del agua en el sistema.

Otro de los factores a considerar es el Modelo de Enrutamiento (Routing Model) en el cual se presentan dos opciones para realizar la modelación. A continuación, presentamos un listado de diferencias entre las dos opciones a considerar.

El programa SWMM presenta, el modelo de onda cinemática (Kinematic Wave) y el modelo de onda dinámica (Dynamic Wave) para simular el flujo de agua en los sistemas de drenaje urbano. A continuación, se describen las principales diferencias entre ambos modelos:

1. Velocidad de simulación: El modelo de onda cinemática es más rápido a lo hora de correr el modelo ya que utiliza una aproximación simplificada del flujo de agua en el sistema. Por otro lado, el modelo de onda dinámica es más preciso, pero también requiere más tiempo de simulación.
2. Precisión: El modelo de onda dinámica es más preciso que el modelo de onda cinemática, ya que tiene en cuenta los efectos de la fricción y la resistencia en el flujo de agua. Esto lo hace especialmente útil para modelar sistemas de drenaje urbano con tuberías de gran diámetro y con flujos de alta velocidad.
3. Limitaciones del modelo: El modelo de onda cinemática es adecuado para sistemas de drenaje urbano con pendientes suaves y flujos laminares, mientras que el modelo de onda dinámica es más adecuado para sistemas con pendientes pronunciadas y flujos turbulentos.
4. Características de la simulación: El modelo de onda cinemática asume que el flujo de agua es uniforme en la dirección del flujo, mientras que el modelo de onda dinámica tiene en cuenta la variación espacial del flujo de agua y las características de los diferentes componentes del sistema de drenaje.

En resumen, la principal diferencia entre el modelo de onda cinemática y el modelo de onda dinámica en el programa SWMM es la velocidad de simulación y la precisión del modelo. El modelo de onda cinemática es más rápido, pero menos preciso, mientras que el modelo de onda dinámica es más preciso, pero requiere más tiempo de simulación. La elección del modelo dependerá de la complejidad y

características del sistema de drenaje urbano a modelar y los objetivos de la simulación.

Para el proyecto se utilizará el modelo de onda dinámica ya que al modelar el sistema de alcantarillado se constató que existen pendientes pronunciadas. También se utilizará coeficientes de fricción y la resistencia del flujo de agua y el modelo seleccionado cuenta con las herramientas para proyectar estas particularidades, también el modelo de onda dinámica tiene en cuenta la variación espacial del flujo de agua lo que lo hace más preciso.

3.2 Evaluación del modelo en SWMM

3.2.1 Diámetro de las tuberías.

En lo referente a los diámetros y según el catastro de la zona los diámetros en su mayoría son de 300mm, aunque en ciertos tramos se pueden encontrar diámetros de 400mm, 500mm, 1000mm, 1200mm y como máximo en el sistema evaluado existen tuberías con diámetros de 1400mm.

Los diámetros de 300mm, 400mm, 500mm y 600mm en su mayoría están presentes en el inicio o continuación de las tuberías aportantes de la red de alcantarillado evaluada, los diámetros de 1000mm, 1200mm, 1300mm y 1400mm están presentes en el colector principal de alcantarillado analizado como se muestra en la FIGURA 5.

Esto se debe a que en esta red principal se recoge todo el caudal de las ramificaciones anteriores y por esto es necesario una tubería con la suficiente capacidad para funcionar correctamente en distintos escenarios de máxima exigencia para la red.

TABLA 8. Diámetros y Longitudes de las tuberías del modelo evaluado

Diámetro(mm)	Longitud(m)
300	1546,039
400	1759,663
500	574,438
600	1515,278
1000	229,25
1200	329,24
1300	225,37
1400	411,71
TOTAL	6590,988

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.2 Pendientes en la red de alcantarillado.

Al realizar el análisis del catastro del sistema de alcantarillado existente, se han identificado pendientes con una alta inclinación, alcanzando un máximo del 10%, como se aprecia en la FIGURA 6. Estas pendientes son atribuibles a la configuración topográfica de la zona de estudio. Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de estos tramos con pendientes pronunciadas son de longitud reducida, lo cual limita su repercusión en la velocidad del flujo del agua.

En términos hidráulicos, la pendiente de las tuberías y conductos es un factor crítico para asegurar un correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado. Una pendiente adecuada permite que el agua fluya con la suficiente velocidad para arrastrar los sólidos propios del agua residual y evitar la acumulación y estancamiento del flujo; evitando así posibles problemas como la obstrucción de la red o el retroceso de agua hacia puntos no deseados.

No obstante, es esencial realizar un análisis detallado de cada tramo del sistema y considerar posibles medidas adicionales de control hidráulico en áreas específicas donde las pendientes sean más significativas.

3.2.3 Pozos.

Se establece en los “CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO”, un relleno máximos y mínimos sobre la clave de las tuberías de:

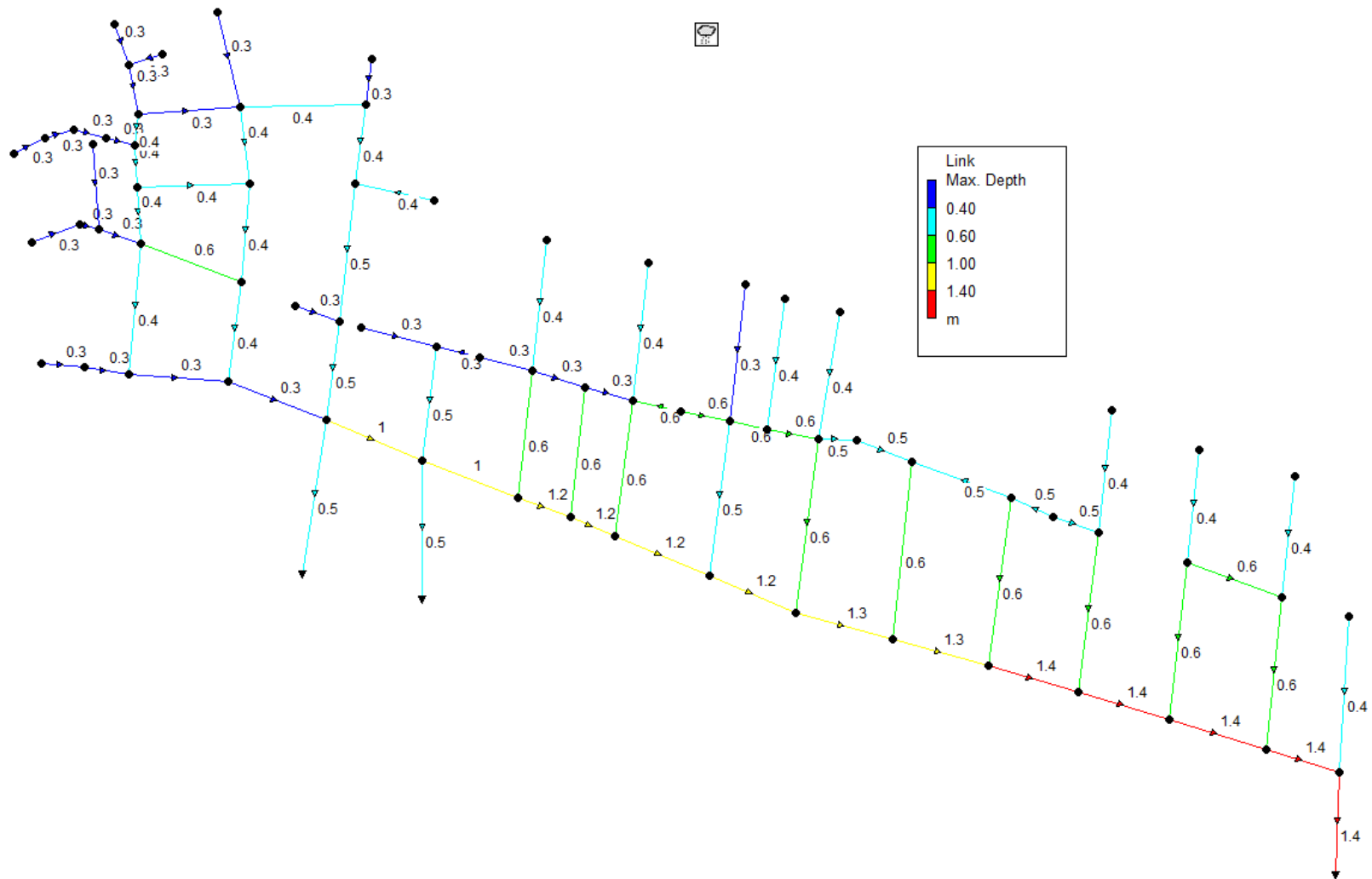
- Relleno máximo: 4.5 m sobre la clave de la tubería.
- Relleno mínimo: 1.0 m sobre la clave de la tubería.

TABLA 9. Alturas de los pozos del sistema de Alcantarillado.

Altura Pozos(m)	Numero Pozos
0,5-1,5	4
1,5-2,5	36
2,5-3,5	22
3,5-4-5	3
>4,5	3
Total, Pozos	68

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 5. Mapa de diámetros de las tuberías en el sistema de alcantarillado.



Fuente: Elaboración propia.

El sistema evaluado cumple con el relleno mínimo y máximo sobre la clave de la tubería como se puede ver en la TABLA 9, existen un relleno máximo de 5,5 m. siendo este un desfase admisible en 3 pozos del sistema evaluado.

3.2.4 Caudal.

Para la estimación de los caudales sanitarios y pluviales nos basamos en la “ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE CUENCA.”

Al examinar detalladamente los resultados del modelo y analizar la TABLA 10 que muestra los caudales registrados para diferentes tiempos de intensidad y periodos de retorno, podemos obtener una visión más clara de los patrones observados.

Es interesante destacar que la intensidad máxima se registra consistentemente a los 40 minutos para todos los periodos de retorno considerados. En ese momento, se alcanza un caudal máximo de 6846,74 lt/s, lo cual es significativo y merece una atención especial en el diseño del sistema.

Esta alta magnitud del caudal se atribuye principalmente a las características de la zona donde se encuentra el proyecto. Al ser una zona poco permeable y extensa, se genera una acumulación considerable de agua de lluvia. Como resultado, se requiere una tubería de gran tamaño para acomodar eficientemente este caudal voluminoso y garantizar un drenaje adecuado, estos aspectos son fundamentales para el diseño de un sistema de drenaje pluvial eficiente y efectivo en la gestión del agua en la zona del proyecto.

TABLA 10. Caudales registrados para diferentes tiempos de intensidad y perdidos de retorno.

TIEMPO	CAUDAL POZO DE DESCARGA (lt/s)		
	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS
0:10	21,54	21,54	21,54
0:20	255,17	326,92	426,64
0:30	1090,32	1267,32	1489,18
0:40	5036,61	5896,60	6846,74

0:50	2511,59	2915,89	3362,16
1:00	1287,14	1442,29	1644,90

Fuente: Elaboración Propia.

En la TABLA 10, se muestran los caudales registrados para diferentes tiempos de intensidad y periodos de retorno. Se destaca que la intensidad máxima se registra consistentemente a los 40 minutos para todos los periodos de retorno considerados, alcanzando un caudal máximo de 6846.74 lt/s. Esta alta magnitud del caudal se debe a las características de la zona, que presenta una acumulación considerable de agua de lluvia debido a su baja permeabilidad y extensión.

3.2.5 Capacidad

Para lograr condiciones óptimas se deben diseñar colectores parcialmente llenos, con calados máximo y mínimo de 0.8 D y 0.2 D respectivamente.

Para un periodo de retorno de 3 años, FIGURA 7, se puede ver que los tramos de cabecera de la red ya se encuentran trabajando a presión, esto se debe a que los diámetros de dichas tuberías son relativamente pequeños considerando el caudal pluvial que deben transportar.

Para un periodo de retorno de 5 años, FIGURA 8, evidenciamos que al igual que la evaluación anterior la parte inicial y de cabecera ya se encuentra trabajando a presión, y la última parte del colector principal también supera la capacidad de transporte determinada en los criterios de diseño.

Para un periodo de retorno de 10 años, al analizar la FIGURA 9, podemos observar que no se presenta una diferencia significativa en comparación con la evaluación previa. En esta figura, se aprecia que la sección inicial y la cabecera del sistema continúan operando bajo presión, lo que indica que ya están experimentando un flujo constante, además, se evidencia que el tramo principal de la red, al igual que otras tuberías del sistema, se encuentran colapsadas debido al considerable aumento en el caudal.

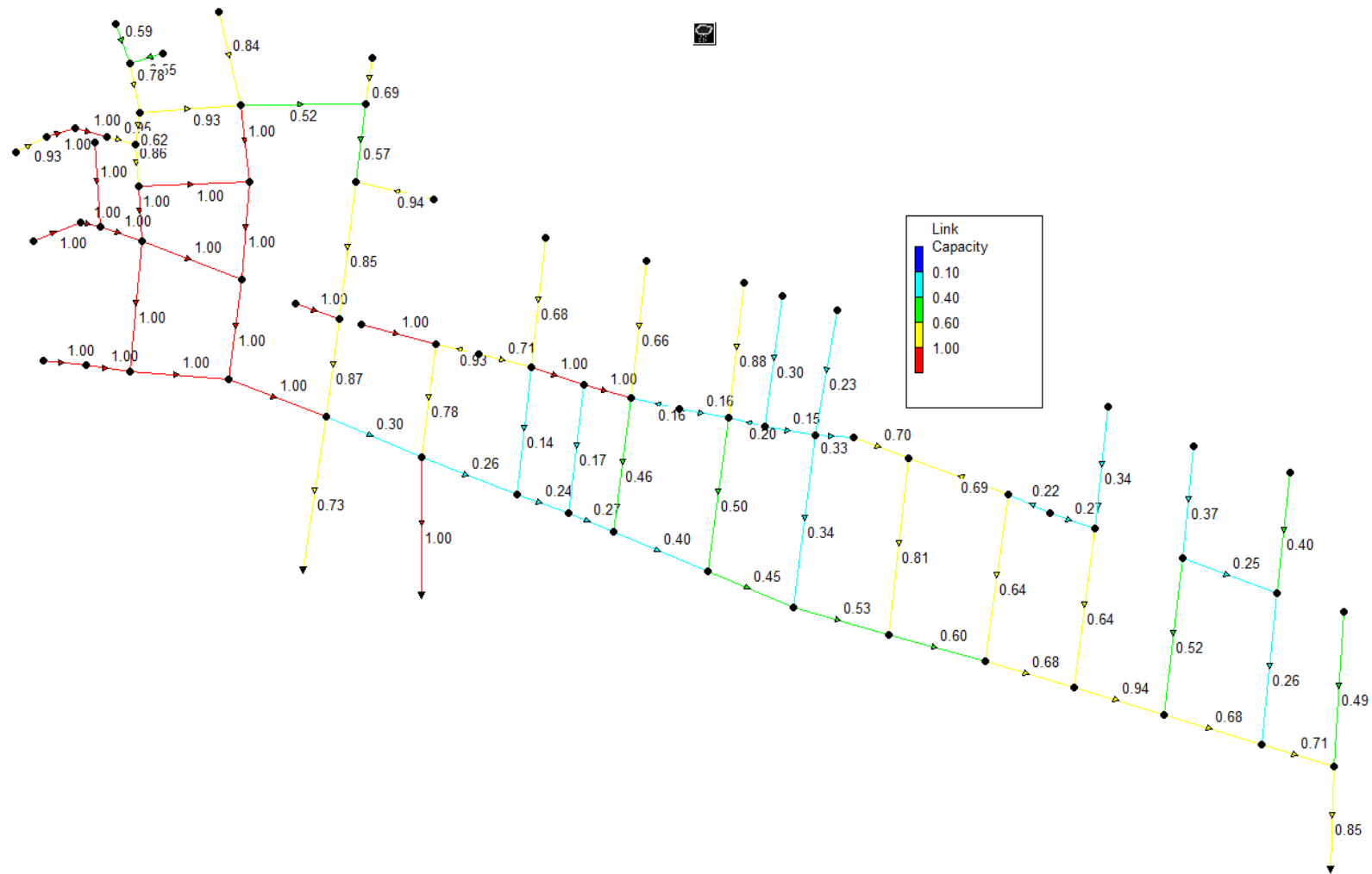
Esta situación discutida en los apartados anteriores, revela un desafío importante para el sistema de alcantarillado, ya que el incremento en el caudal ha superado su capacidad de funcionamiento óptimo. Para abordar esta problemática, es necesario implementar medidas efectivas que permitan aliviar la presión y evitar daños mayores en la infraestructura. Algunas posibles soluciones podrían incluir la instalación de tuberías de mayor diámetro, la construcción de canales de derivación o la implementación de estructuras de almacenamiento temporal para regular el flujo. Estas acciones son cruciales para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema y prevenir futuros colapsos en momentos de altas precipitaciones o eventos climáticos extremos.

Podemos analizar detalladamente el perfil del colector principal en la FIGURA 10, que representa el colector principal del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años y la intensidad máxima registrada en intervalos de 10 minutos. Se puede notar que, en los tramos iniciales del colector, la capacidad de las tuberías está al límite máximo. Esto se debe a dos factores principales: el diámetro relativamente pequeño y la gran cantidad de agua proveniente de la red superior que drena en el colector principal.

El diámetro reducido de las tuberías iniciales limita el flujo de agua debido a su menor área transversal en comparación con las secciones posteriores del colector, donde los diámetros suelen ser mayores. Como resultado, las tuberías iniciales alcanzan rápidamente su capacidad máxima, lo que se observa en la figura. Además, estas tuberías actúan como ramificaciones que acumulan una gran cantidad de agua de otras tuberías y afluentes antes de llegar al colector principal. Al unirse al colector principal en el inicio, toda esa agua adicional ejerce presión sobre las tuberías, lo que acelera su llenado hasta alcanzar su capacidad máxima.

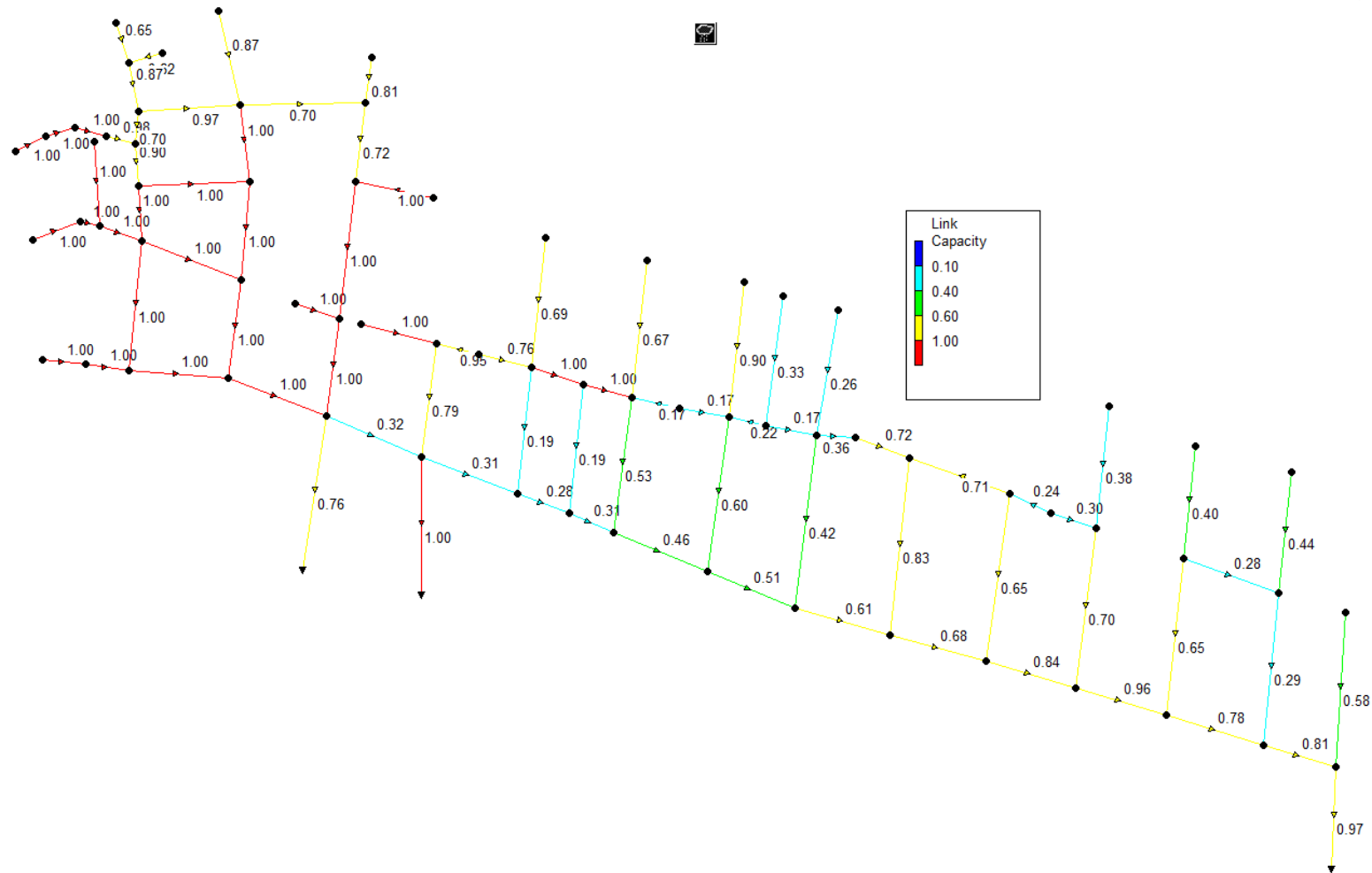
Al observar el perfil del colector principal podemos ver como los pozos iniciales del mismo están siendo sobre abastecidos por lo cual se van a generar desbordamientos e inundaciones en sus inmediaciones, no es el alcance de este proyecto determinar las áreas a inundarse.

FIGURA 7. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 3 años.



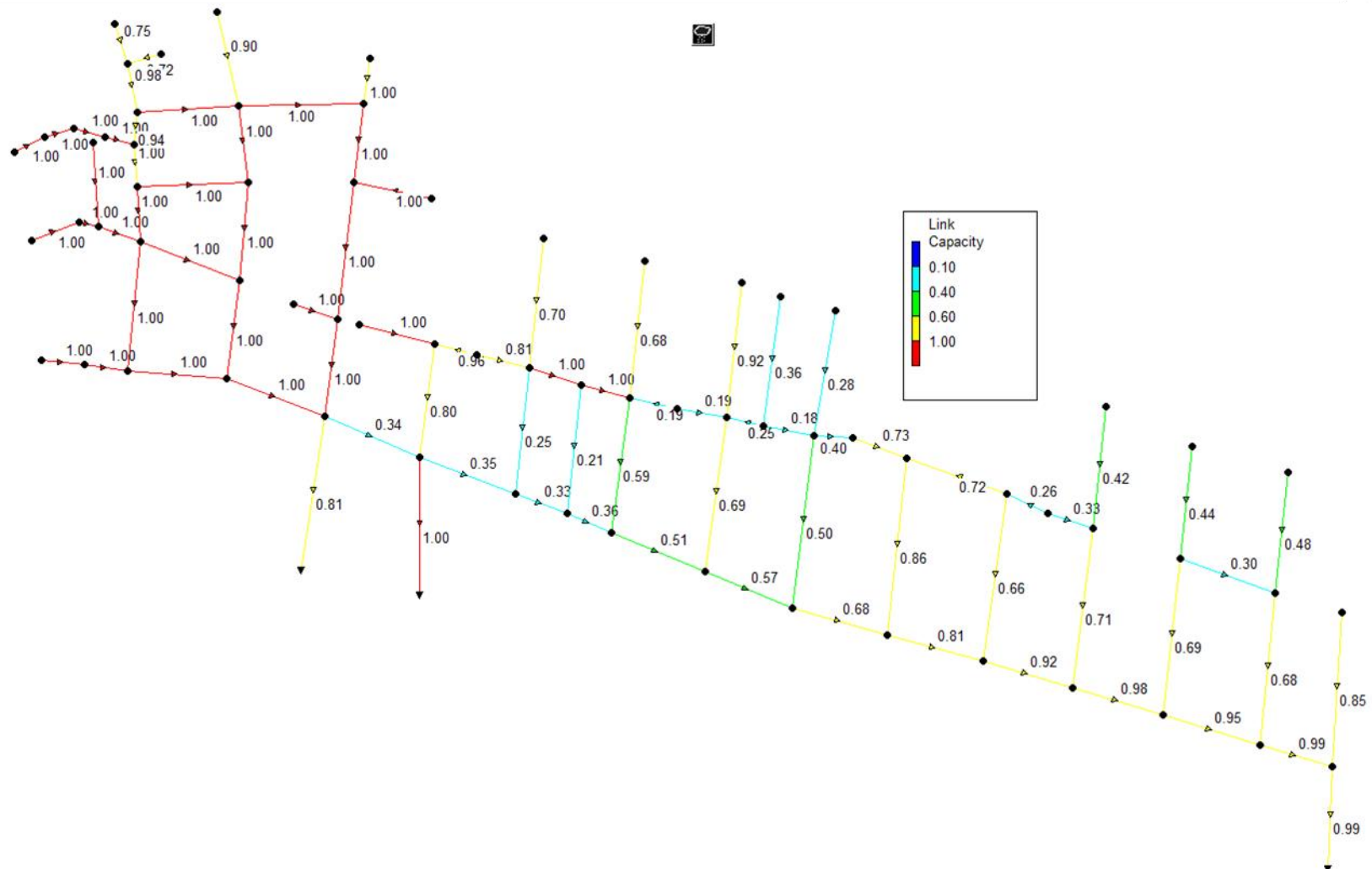
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 8. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 9. Mapa de la capacidad en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 10. Perfil del Colector Principal de la red de alcantarillado evaluada.



Fuente: Elaboración Propia.

3.2.6 Velocidad.

Los parámetros de diseño determinan una velocidad para tuberías de hormigón que varía entre los 0.4 m/s como mínimo y 5 m/s como máximo. Al evaluar el sistema se constató que efectivamente se cumple con estos lineamientos, si bien hay un excedente en periodos de retorno de 5 y 10 años estos son valores despreciables para la red evaluada.

Para un periodo de retorno de 3 años, FIGURA 11, se pudo constatar que efectivamente se cumple con los parámetros establecidos por Etapa EP.

Para un periodo de retorno de 5 y 10 años, se observa en las FIGURA 12 y FIGURA 13 que no se excede el límite máximo admisible de 5 m/s para la velocidad del flujo. Sin embargo, es importante tomar medidas adicionales para controlar y mitigar cualquier impacto negativo que estas velocidades elevadas puedan tener en el sistema de alcantarillado. Esto puede implicar la implementación de estrategias de control de flujo, como la instalación de dispositivos de reducción de velocidad o el rediseño de ciertas secciones críticas de la red para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro del sistema en general.

A continuación, se muestra la TABLA 11, donde podemos visualizar las diferentes velocidades del flujo de agua a través de las tuberías del colector principal en diferentes periodos de retorno.

TABLA 11. Velocidades del colector principal para los diferentes periodos de retorno.

TRAMO	VELOCIDAD (m/s)		
	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS
A-B	1,53	1,75	2,01
B-C	1,72	1,72	1,72
C-D	1,32	1,32	1,32
D-E	2,47	2,47	2,47
E-F	3,27	3,34	3,45
F-G	2,99	3,11	3,28
G-H	2,98	3,20	3,39
H-J	3,38	3,62	3,80
J-K	3,69	3,89	4,04

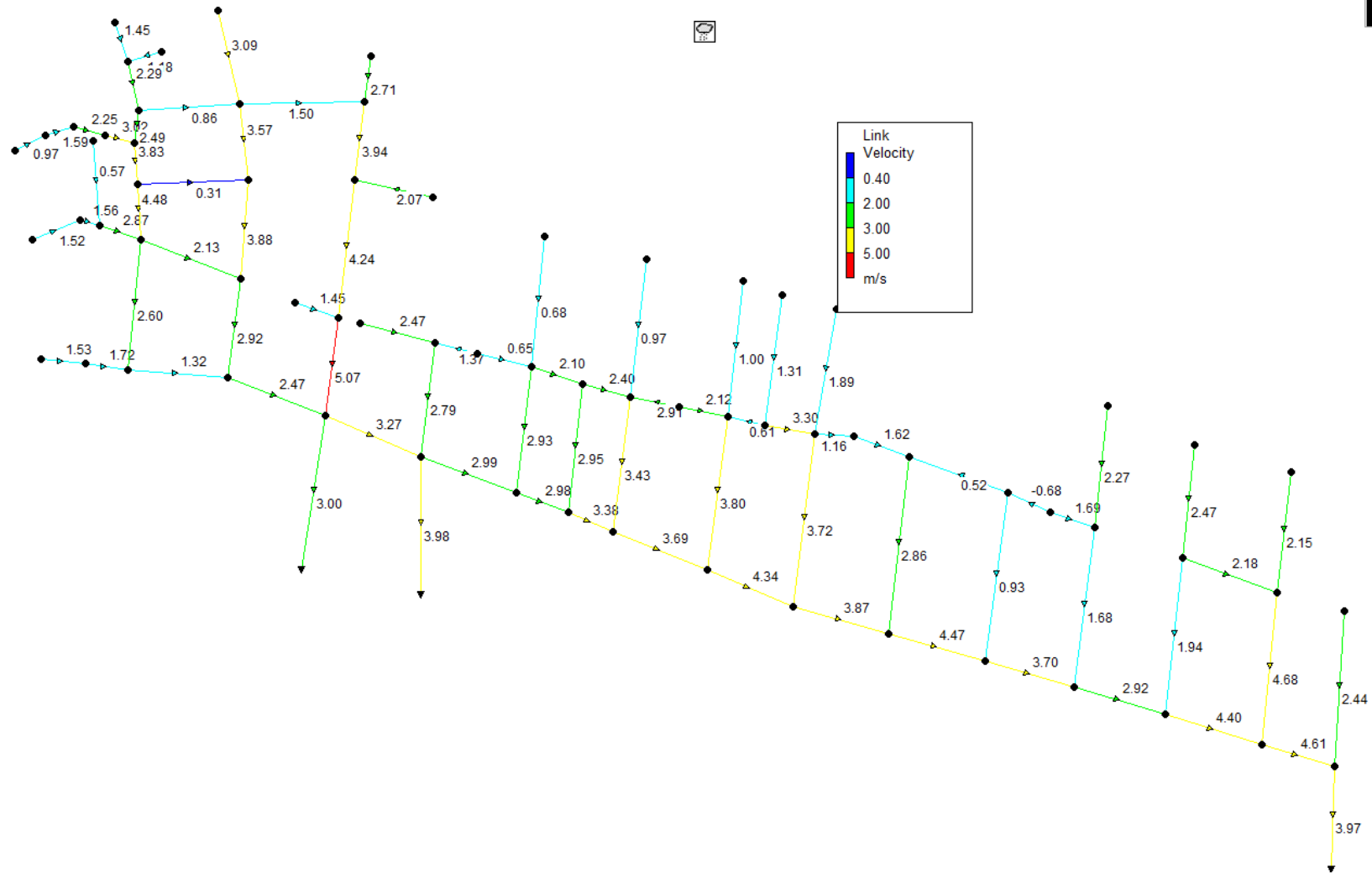
K-L	4,34	4,55	4,01
L-M	3,87	4,03	4,71
M-N	4,47	4,63	4,15
N-O	3,70	3,52	4,49
O-P	2,92	3,34	3,69
P-Q	4,40	4,53	4,42
Q-R	4,51	4,73	4,47

Fuente: Elaboración Propia.

Al examinar detalladamente la TABLA 11, podemos observar que no se produce un aumento significativo en la velocidad en relación con los periodos de retorno. Esto se debe en gran medida al notable incremento en el diámetro del colector principal a medida que se avanza por el mismo a partir del pozo E. Este aumento en el diámetro resulta en un incremento considerable en el área de la sección transversal de la tubería, lo que a su vez no permite la aceleración de la velocidad del flujo conforme incrementa el caudal. Por lo tanto, a pesar de los distintos periodos de retorno considerados, el aumento en la velocidad se mantiene relativamente controlado.

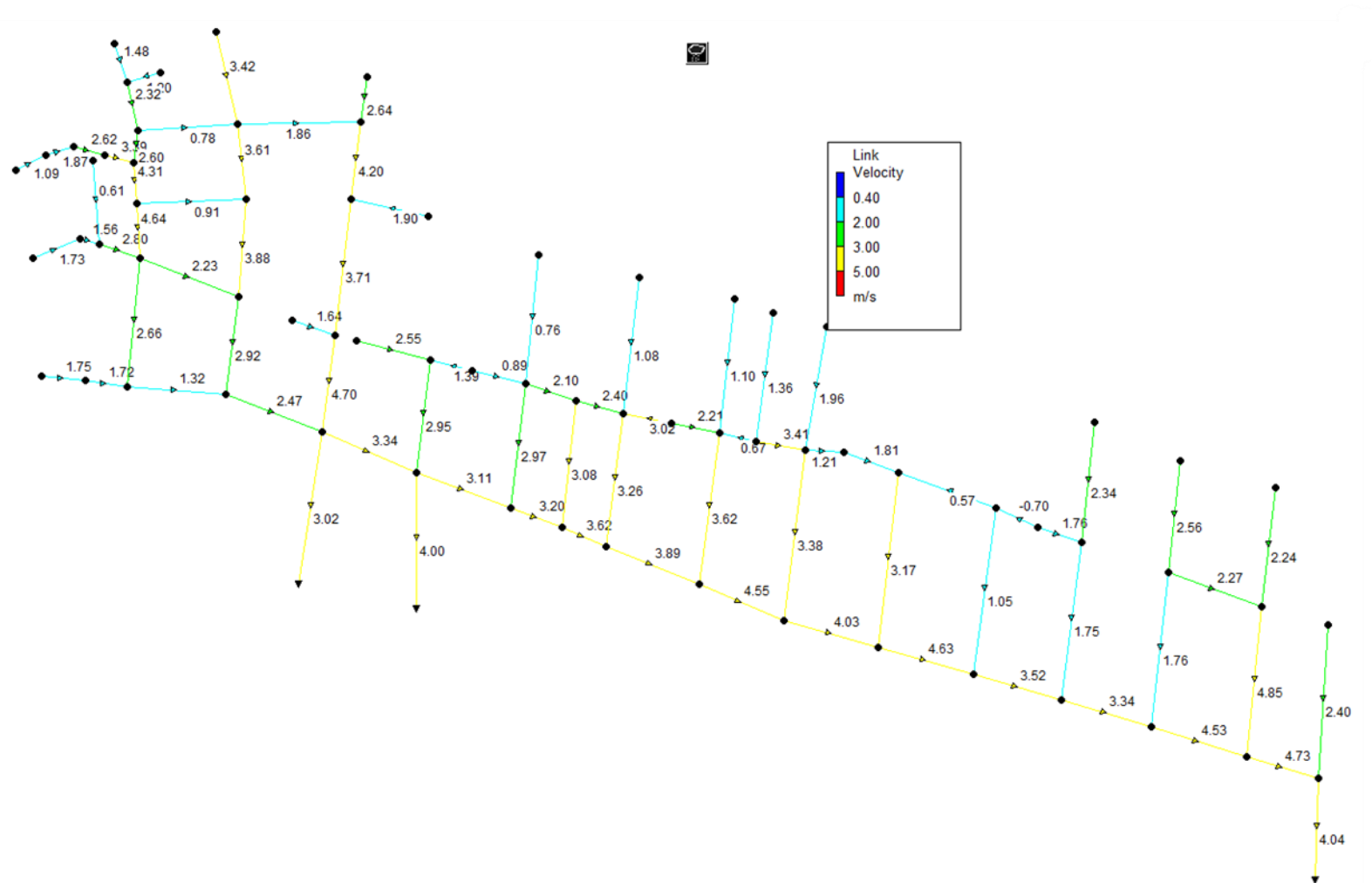
Esta consideración en el diseño del colector principal ha sido crucial para disminuir la velocidad del flujo y garantizar un funcionamiento óptimo del sistema de alcantarillado. Esto ayuda a mitigar los riesgos asociados con velocidades excesivas y garantiza un flujo equilibrado y controlado en todo el sistema.

FIGURA 11. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 3 años.



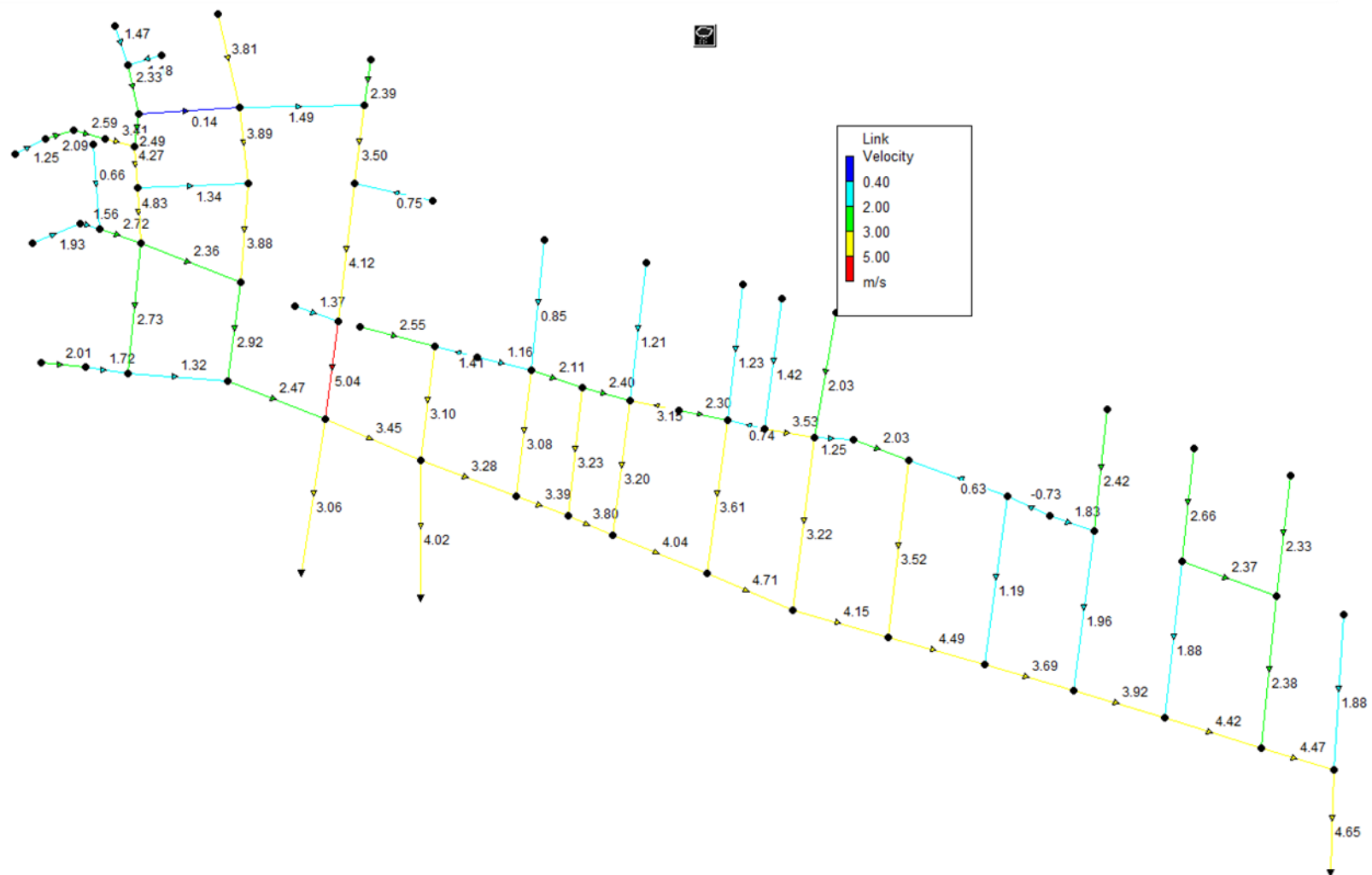
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 12. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 13. Mapa de velocidades en el sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo IV. Propuesta de Mejoras.

En el análisis de las mejoras necesarias para hacer frente al escenario más desfavorable que ocurre en el pico del escenario de lluvias intensas, se debe tener en cuenta la consideración de múltiples factores. En particular, este escenario se caracteriza por un periodo de retorno de 10 años, lo que implica que se espera la ocurrencia de eventos climáticos extremos con una frecuencia relativamente alta.

Sin embargo, en este proceso de propuesta de mejoras, es esencial tener en cuenta ciertos parámetros que presentan limitaciones considerables. Uno de ellos es la topografía del terreno, la cual no es fácilmente modificable debido a que nos encontramos en una zona urbana consolidada. La estructura urbana existente, con edificios, calles y servicios públicos, limita las opciones para intervenir en la modificación de las condiciones topográficas.

Es por ello que, ante estas restricciones, es necesario buscar alternativas viables para abordar los riesgos asociados al escenario desfavorable, una de las áreas clave de enfoque es la mejora de la infraestructura existente.

Como primera consideración, se propone llevar a cabo una modificación parcial en el tramo de cabeza del colector principal, con el objetivo de aumentar su capacidad de drenaje y garantizar un flujo adecuado durante lluvias intensas. En particular, se sugiere incrementar el diámetro entre los pozos A-E pasando de 300 milímetros a 1000 milímetros.

Esta mejora en el diámetro de las tuberías del colector principal busca optimizar la capacidad de transporte de agua en situaciones de alta intensidad pluvial. Al aumentar el diámetro, se permitirá transportar mayor cantidad de agua, evitando la acumulación excesiva y el riesgo de desbordamientos o inundaciones.

Si bien se realizó una mejora inicial en la capacidad de transporte de la tubería en la entrada del colector principal, a medida que avanzamos a lo largo del colector, nos enfrentamos nuevamente al problema de una capacidad de transporte insuficiente.

Además de la ampliación del diámetro, se deben considerar otras medidas complementarias, siempre considerando que es una zona consolidada es difícil la intervención para mejorar el rendimiento del colector principal.

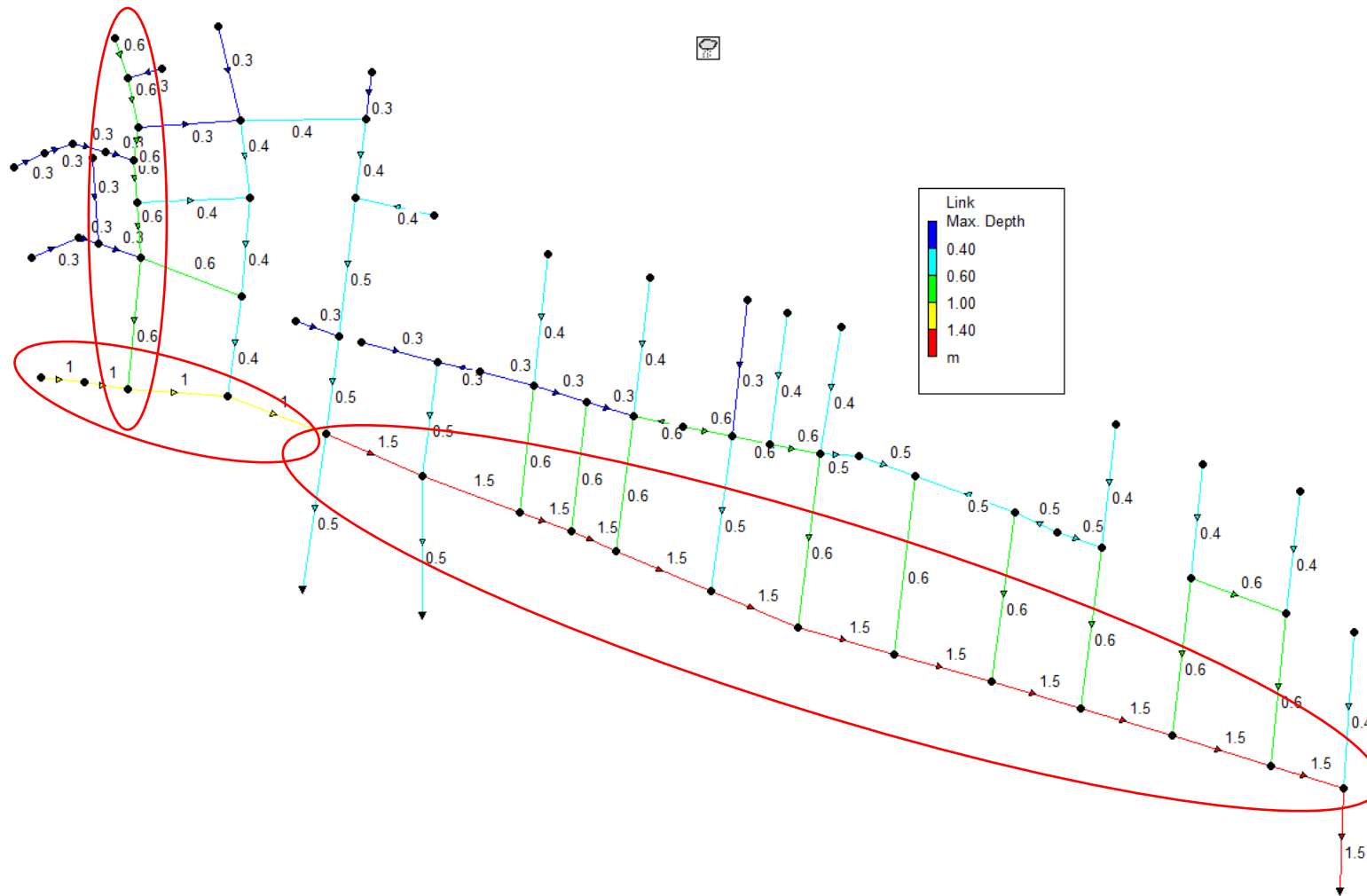
Es importante mencionar que cualquier intervención en el colector principal debe llevarse a cabo considerando cuidadosamente las restricciones impuestas por la topografía en cuanto a pendientes existentes y profundidades máximas permisibles sobre la clave de la tubería.

Como segunda consideración para mejorar el sistema de alcantarillado, se propone llevar a cabo una ampliación adicional en un tramo específico de la red comprendido entre los pozos H9-C, FIGURA 14. Esta intervención tiene como objetivo mejorar significativamente la capacidad de transporte del sistema. Para esto se aumentará el diámetro a 600 milímetros en el tramo mencionado.

Además de la ampliación en el tramo mencionado, se propone llevar a cabo otra ampliación en el diámetro del colector principal, específicamente desde el pozo H, FIGURA 14. Esta modificación consistiría en aumentar el diámetro a 1500 milímetros. Con esta medida, se busca asegurar una mayor capacidad de transporte en el tramo inicial del colector, lo que contribuirá a reducir los problemas de congestión y desbordamiento en los últimos tramos del sistema.

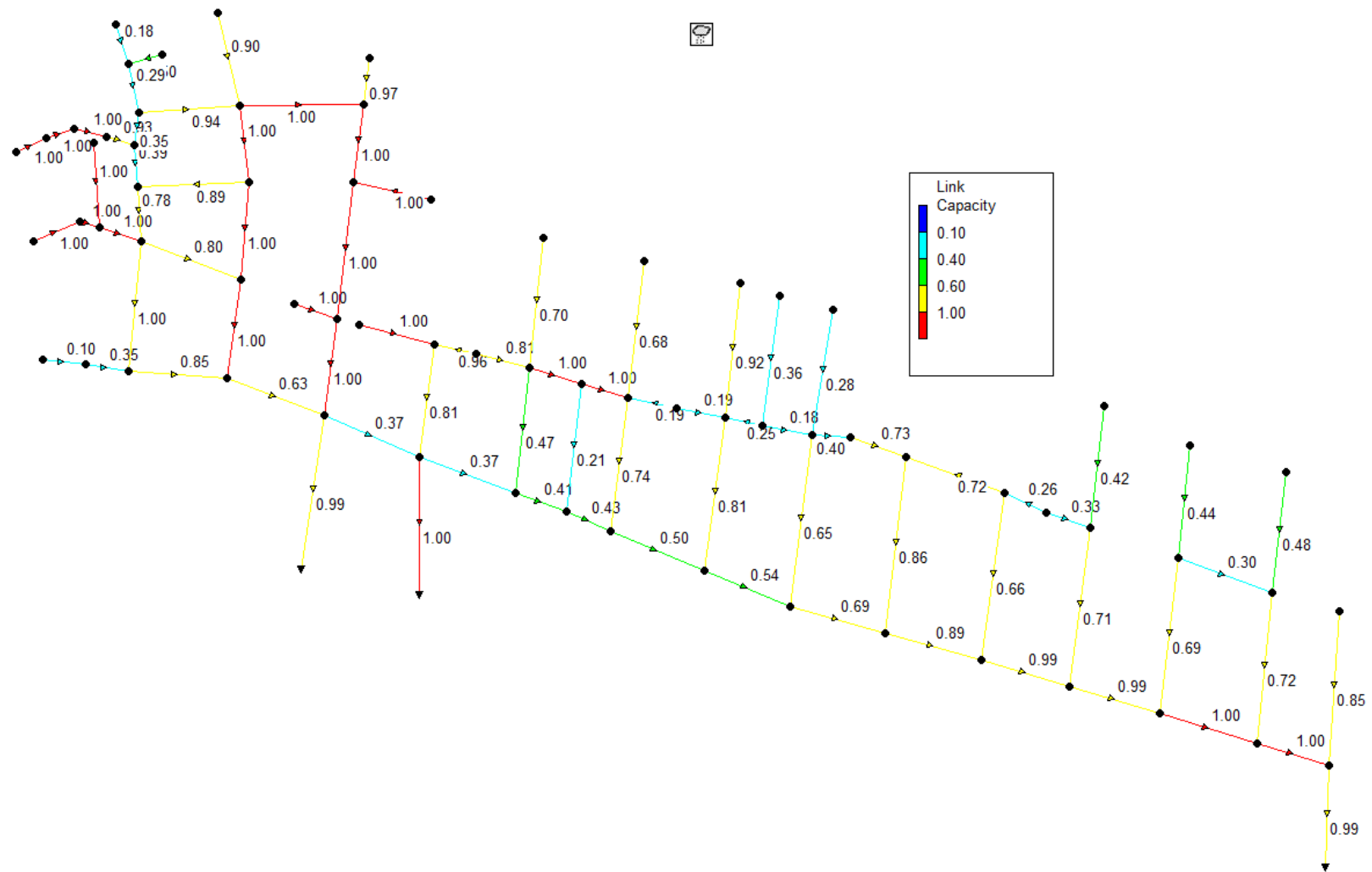
Al analizar detenidamente la FIGURA 15 se puede apreciar una mejora considerable en la red de alcantarillado evaluada en su conjunto. Sin embargo, aún persiste un desafío importante en el tramo final del colector principal, en el cual la capacidad de transporte sigue siendo insuficiente debido a la gran cantidad de aguas lluvias que recoge el sistema. Como resultado, es muy probable que el sistema experimente desbordamientos en las condiciones evaluadas en este último tramo del colector principal.

FIGURA 14. Mapa de propuestas de mejoras del sistema de alcantarillado colector principal.



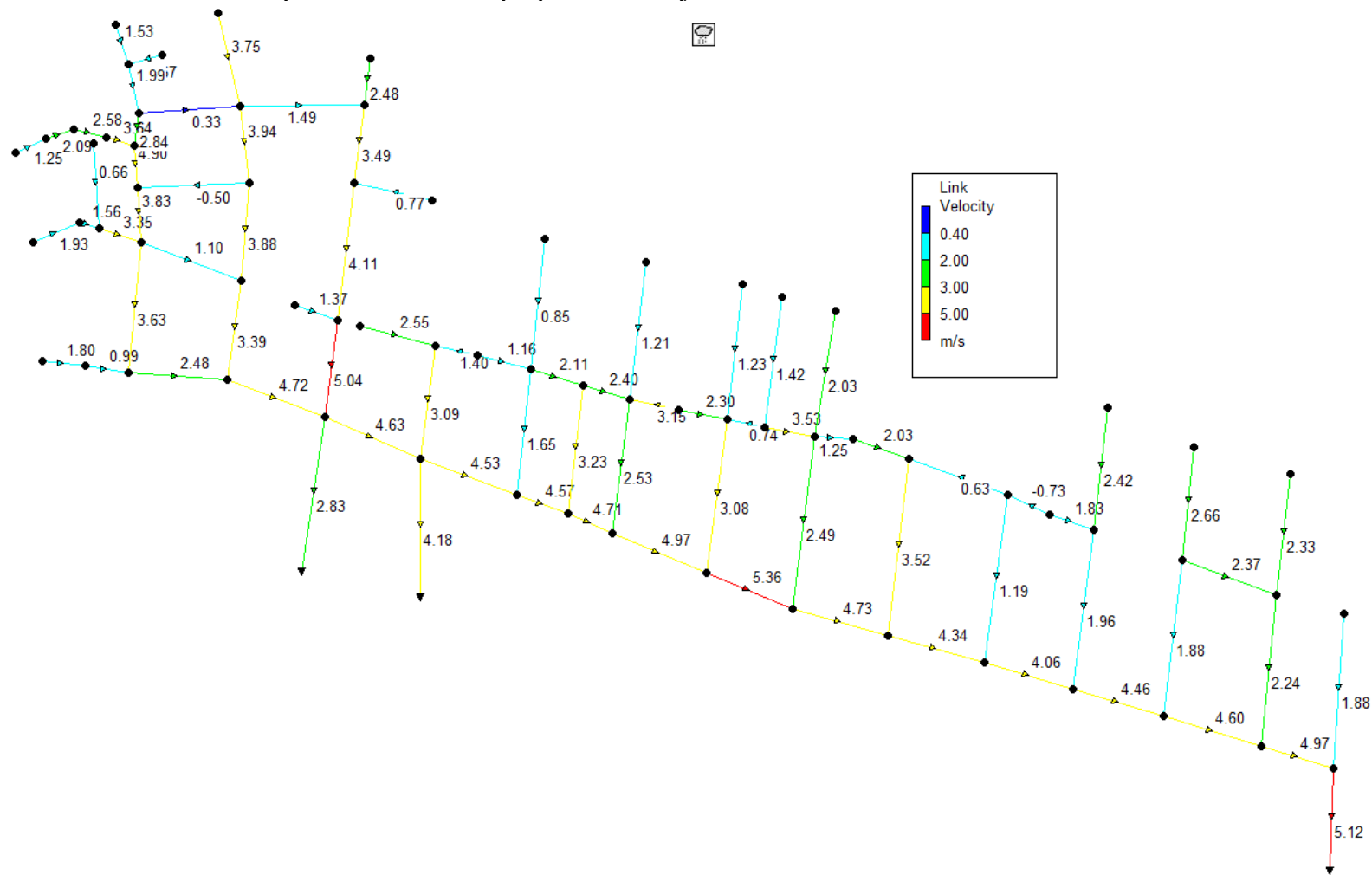
Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 15. Mapa de la capacidad– propuesta de mejoras el sistema de alcantarillado.



Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 16. Mapa de la velocidad- propuesta de mejoras el sistema de alcantarillado.



Fuente: Elaboración Propia.

Capítulo V. Conclusiones.

En relación a los diámetros, el catastro de la zona indica que la mayoría de las tuberías en el sistema de alcantarillado evaluado tienen diámetros de 300 mm. Sin embargo, también se pueden encontrar tramos con diámetros de 400 mm, 500 mm, 1000 mm, 1200 mm y, como máximo, 1500 mm. Los diámetros más pequeños se encuentran principalmente al inicio o en las ramificaciones de la red de alcantarillado, mientras que los diámetros más grandes están presentes en el colector principal. Esto se debe a que el colector principal recoge el caudal de las ramificaciones anteriores, por lo que necesita una capacidad suficiente para funcionar correctamente en diferentes escenarios de máxima exigencia.

Al analizar el catastro del sistema de alcantarillado existente, se identificaron pendientes pronunciadas, con una inclinación máxima del 10%. Estas pendientes están determinadas por la configuración topográfica de la zona. Sin embargo, la mayoría de estos tramos con pendientes pronunciadas son de longitud reducida, lo que limita su impacto en la velocidad del flujo del agua.

Es importante destacar que la pendiente de las tuberías y conductos es un factor crítico para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado. Una pendiente adecuada permite que el agua fluya a una velocidad suficiente para transportar los sólidos presentes en el agua residual y evitar la acumulación y el estancamiento del flujo. Esto ayuda a prevenir problemas como obstrucciones en la red o el retroceso de agua hacia puntos no deseados.

En cuanto al caudal, se puede observar un incremento gradual en el caudal a medida que se avanza a lo largo del colector y a lo largo de los años, este aumento se debe a la evaluación que se produce en los diferentes periodos de retorno de 3, 5 y 10 años. Este aumento supera la capacidad ocasionando inundaciones y desbordamientos.

El sistema evaluado cumple con los criterios de relleno establecidos en los "CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO". Se cumple con el relleno mínimo de 1.0 m sobre la clave de la tubería y el relleno máximo de 4.5 m. Sin embargo, se observa un desfase admisible en tres pozos del sistema evaluado, donde se registra un relleno máximo de 5.5 m.

En términos hidráulicos, los parámetros de diseño establecen una velocidad mínima de 0.4 m/s y una velocidad máxima de 5 m/s para las tuberías de hormigón. Al evaluar el sistema, se cumple con estos lineamientos. En el análisis detallado de los diferentes periodos de retorno (3, 5 y 10 años), la velocidad del flujo no excede el límite máximo admisible de 5 m/s. Sin embargo, es importante tomar medidas adicionales para controlar y mitigar cualquier impacto negativo que estas velocidades elevadas puedan tener en el sistema de alcantarillado. Esto puede implicar la implementación de estrategias de control de flujo, como la instalación de dispositivos de reducción de velocidad o el rediseño de secciones críticas de la red.

Para el perfil del colector principal, para un periodo de retorno de 10 años y la intensidad máxima registrada en intervalos de 10 minutos, en el inicio del colector, se puede observar que la capacidad de las tuberías se encuentra al límite máximo debido al diámetro relativamente pequeño de las tuberías iniciales y a la gran cantidad de agua proveniente de la ramificación superior de la red de alcantarillado. Para un periodo de retorno de 3 años, como se muestra en la, los tramos de cabecera de la red ya están trabajando a presión debido a los diámetros relativamente pequeños de las tuberías en comparación con el caudal que deben transportar.

Para periodos de retorno de 5 y 10 años se observa que la parte inicial y de cabecera del sistema continúan operando bajo presión. Además, el tramo principal de la red y otras tuberías del sistema están colapsadas debido al considerable aumento en el caudal. Esto presenta un desafío importante que requiere la implementación de medidas efectivas para aliviar la presión y evitar daños mayores en la infraestructura, como el uso de tuberías de mayor diámetro, construcción de canales de derivación o la implementación de estructuras de almacenamiento temporal para regular el flujo.

Con respecto a las mejoras que se establecieron podemos decir que las que se plantearon inicialmente y teniendo en cuenta la difícil intervención en dicha zona por ser un área urbana consolidada se llegó a la conclusión que si bien ayudan a mejorar la capacidad de los tramos iniciales no se ve una gran mejoría en todo el colector principal. Con la segunda opción de mejora, aumentando considerablemente el diámetro del último tramo del colector principal se puede evidenciar una gran mejora en este tramo; sin embargo, todavía resulta ineficiente al evaluarlo para cumplir los criterios de diseño actuales. Se puede concluir que aun con las mejoras planteadas, persisten los problemas de trabajo a presión del sistema de alcantarillado, lo cual potencialmente causaría problemas de inundaciones en ciertas áreas que abarcan la red en situaciones límites. Se puede dar una solución a esta situación incrementando el diámetro del último tramo; sin embargo, esto no es factible por la condición de frontera que presenta la red de alcantarillado existente a la cual la red evaluada descarga. Por consiguiente, el diámetro máximo al cual se puede incrementar el colector es de 1500 mm.

Bibliografía:

Rossmann, L. (n.d.). *Storm Water Management Model User's Manual Version*. www.epa.gov/water-research

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS PARA ÁREAS DE APORTE Coeficiente de Manning N para escorrentía superficial. (n.d.).

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO PARA LA CIUDAD DE CUENCA. 1. DISEÑO DE REDES DE ALCANTARILLADO SANITARIO. (n.d.).

Estudios y Diseños Finales de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento para la Ciudad de Cuenca (Ecuador). II ETAPA CRITERIOS Y PARÁMETROS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

Financiamiento: BID-Fondo Especial del Japón-ETAPA. (n.d.).

Simplificada, T. (n.d.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas Potabilizadoras de*. www.conagua.gob.mx

ESTRATEGIA NACIONAL DE CALIDAD DEL AGUA. (2016).

Toft Health, P., Canada Ing Henry Salas Coordinador del Proyecto, W. J., Ing José Lobos Profesional Joven Residente, C. E., & Incyth, C. (n.d.). *Se agradece la colaboración de*.

*home – Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s. f.).
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
(ETAPA EP - Servicios de Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable,
Alcantarillado de Cuenca - Ecuador > Home, s. f.)*

Anexos:

.

TRAMO	LONGITUD	TAPA ENTRADA	ENTRADA	SALIDA	DIAMETRO	PENDIENTE	DELTAH	AREA m2	Ha	C	Qd(PLUVIAL)	Poblacion 2023	Q	M	QAS	Qinf	Qili	Qd	QTOTAL
A	49,9	2562,363	-	2560,495	300	2,393%	1,868	4965,700	0,497	0,890	112,183	30,002759	0,071	2,705	2,2	0,050	0,041	2,291	114,474
B		2560,755	2559,301	2559,293			1,462												
B	50,2	2560,755	2559,301	2559,293	300	2,608%	1,462	3682,305	0,368	0,784	73,312	22,248487	0,053	2,765	2,2	0,050	0,031	2,281	75,593
C		2559,841	2557,984	2557,849			1,992												
C	114,15	2559,841	2557,984	2557,849	300	1,355%	1,992	5946,000	0,595	0,917	138,417	35,925732	0,083	2,675	2,2	0,114	0,048	2,362	140,779
D		2558,115	2556,302	2556,712			1,403												
D	115,6	2558,115	2556,302	2556,712	300	2,420%	1,403	5880,000	0,588	0,901	134,543	35,52696	0,083	2,675	2,2	0,116	0,048	2,364	136,907
E		2555,82	2553,915	2553,535			2,285												
E	114,09	2555,82	2553,915	2553,535	300	2,009%	2,285	6445,220	0,645	0,820	134,117	38,942019	0,089	2,660	2,2	0,114	0,052	2,366	136,483
F		2553,573	2551,243	2551,238			2,335												
F	115,16	2553,573	2551,243	2551,238	300	2,066%	2,335	6394,130	0,639	0,925	150,102	38,633333	0,089	2,660	2,2	0,115	0,052	2,367	152,469
G		2551,708	2548,859	2548,859			2,849												
G	60,59	2551,708	2548,859	2548,859	300	2,068%	2,849	3077,780	0,308	0,887	69,322	18,595947	0,044	2,804	2,2	0,061	0,025	2,286	71,608
H		2550,758	2547,606	2547,606			3,152												
H	53,28	2550,758	2547,606	2547,606	300	1,794%	3,152	3112,640	0,311	0,932	73,656	18,806571	0,044	2,804	2,2	0,053	0,025	2,279	75,935
J		2549,913	2546,65	2546,325			3,588												
J	111,84	2549,913	2546,65	2546,325	300	2,234%	3,588	6985,210	0,699	0,813	144,112	42,204639	0,099	2,641	2,2	0,112	0,057	2,369	146,481
K		2546,297	2543,826	2543,388			2,909												
K	103,53	2546,297	2543,826	2543,388	300	1,586%	2,909	8093,401	0,809	0,831	170,716	48,900329	0,112	2,615	2,2	0,104	0,065	2,369	173,084
L		2544,737	2541,746	2541,472			3,265												
L	110,34	2544,737	2541,746	2541,472	300	1,827%	3,265	9951,875	0,995	0,816	206,198	60,129229	0,140	2,574	2,2	0,110	0,081	2,392	208,589
M		2542,051	2539,456	2539,07			2,981												
M	115,03	2542,051	2539,456	2539,07	300	1,247%	2,981	10382,496	1,038	0,882	232,549	62,731041	0,144	2,568	2,2	0,115	0,084	2,399	234,948
N		2539,691	2537,636	2537,62			2,071												
N	105,14	2539,691	2537,636	2537,62	300	1,646%	2,071	8906,530	0,891	0,890	201,369	53,813254	0,124	2,597	2,2	0,105	0,072	2,377	203,746
O		2538,74	2535,889	2535,454			3,286												
O	107,16	2538,74	2535,889	2535,454	300	1,408%	3,286	8963,181	0,896	0,873	198,749	54,15554	0,126	2,593	2,2	0,107	0,073	2,380	201,129
P		2536,632	2533,945	2533,545			3,087												
P	113,16	2536,632	2533,945	2533,545	300	1,299%	3,087	9052,564	0,905	0,911	209,367	54,695592	0,126	2,593	2,2	0,113	0,073	2,386	211,753
Q		2534,898	2532,075	2531,672			3,226												
Q	86,25	2534,898	2532,075	2531,672	300	1,397%	3,226	7661,342	0,766	0,937	182,269	46,289828	0,108	2,623	2,2	0,086	0,063	2,349	184,618
R		2533,28	2530,467	2530,467			2,813												
A1	56,25	2567,43	-	2565,458	300	2,756%	1,972	5577,418	0,558	0,879	124,459	33,69876	0,078	2,686	2,2	0,056	0,045	2,302	126,761
A2		2566,128	2563,908	2563,903			2,225												
A2	22,12	2566,128	2563,908	2563,903	300	2,505%	2,225	1212,662	0,121	0,928	28,584	7,3269038	0,018	2,987	2,2	0,022	0,011	2,233	30,816
A3		2565,69	2563,349	2563,345			2,345												
A3	58,95	2565,69	2563,349	2563,345	300	3,306%	2,345	3529,590	0,353	0,929	83,259	21,325783	0,050	2,774	2,2	0,059	0,029	2,288	85,547
A4		2563,932	2561,396	2560,633			3,299												
A4	118,55	2563,932	2561,396	2560,633	600	2,399%	3,299	1212,662	0,121	0,928	28,584	7,3269038	0,018	2,987	2,2	0,119	0,011	2,329	30,913
A5		2561,473	2557,789	2557,789			3,684												

A6	98,5	2561,038	-	2559,215	300	1,085%	1,823	3161,215	0,316	0,845	67,800	19,100061	0,046	2,793	2,2	0,099	0,027
A7		2559,885	2558,146	2558,146			1,739										
A8	88,15	2559,353	-	2557,077	400	1,774%	2,276	8364,197	0,836	0,676	143,582	50,536478	0,117	2,608	2,2	0,088	0,068
A9		2557,17	2555,513	2555,425			1,745										
A10	54,68	2557,685	-	2555,716	300	0,371%	1,969	3545,469	0,355	0,929	83,629	21,421724	0,050	2,774	2,2	0,055	0,029
A9		2557,17	2555,513	2555,425			1,745										
A10	59,875	2557,685	-	2556,113	300	1,486%	1,572	4187,097	0,419	0,930	98,911	25,29844	0,060	2,740	2,2	0,060	0,035
A11		2556,937	2555,223	2555,223			1,714										
A11	60,9	2556,937	2555,223	2555,223	300	2,956%	1,714	5993,525	0,599	0,935	142,359	36,212878	0,085	2,670	2,2	0,061	0,049
A12		2555,137	2553,423	2553,423			1,714										
A12	53,6	2555,137	2553,423	2553,423	300	3,073%	1,714	3985,515	0,399	0,901	91,225	24,080482	0,057	2,748	2,2	0,054	0,033
A13		2555,575	2551,776	2550,776			4,799										
C1	56,1	2554,64	-	2552,84	600	1,897%	1,8	2816,523	0,282	0,906	64,822	17,017432	0,041	2,815	2,2	0,056	0,024
A13		2555,575	2551,776	2550,776			4,799										
C1	58	2554,64	-	2552,84	600	0,655%	1,8	2816,523	0,282	0,906	64,822	17,017432	0,041	2,815	2,2	0,058	0,024
A14		2553,06	2552,46	2552,46			0,6										
A15	39,92	2554,471	-	2552,671	600	0,529%	1,8	3648,605	0,365	0,940	87,111	22,044871	0,053	2,765	2,2	0,040	0,031
A14		2553,06	2552,46	2552,46			0,6										
A15	58,8	2554,471	-	2552,671	600	3,585%	1,8	4851,854	0,485	0,942	116,035	29,314902	0,069	2,711	2,2	0,059	0,040
A16		2552,363	2550,563	2550,563			1,8										
A16	44,6	2552,363	2550,563	2550,563	200	0,955%	1,8	3488,076	0,349	0,862	76,343	21,074955	0,195	2,512	2,2	0,045	0,113
A17		2551,937	2550,137	2550,137			1,8										
A17	67,95	2551,937	2550,137	2550,137	300	2,911%	1,8	5773,525	0,577	0,850	124,584	34,883638	0,080	2,681	2,2	0,068	0,047
A18		2549,959	2548,159	2548,159			1,8										
A18~	114,4	2550,655	2548,855	2548,855	500	1,526%	1,8	10850,525	1,085	0,821	226,154	65,558872	0,151	2,559	2,2	0,114	0,088
A19		2550,392	2547,109	2547,083			3,309										
A19	47,349	2550,392	2547,109	2547,083	500	0,473%	3,309	2990,246	0,299	0,936	71,069	18,067066	0,044	2,804	2,2	0,047	0,025
A20		2549,559	2546,859	2546,859			2,7										
A20	47,159	2549,559	2546,859	2546,859	500	2,388%	2,7	3956,194	0,396	0,772	77,518	23,903324	0,055	2,756	2,2	0,047	0,032
A21		2547,533	2545,733	2545,733			1,8										
A22	103,104	2547,906	2546,106	2546,106	500	0,362%	1,8	8894,831	0,889	0,893	201,746	53,742569	0,124	2,597	2,2	0,103	0,072
A21		2547,533	2545,733	2545,733			1,8										
A22~	110	2547,906	2546,106	2546,106	600	3,315%	1,8	9023,058	0,902	0,875	200,391	54,517316	0,126	2,593	2,2	0,110	0,073
A23		2544,945	2542,459	2542,445			2,5										
B1	36,85	2575,625	-	2572,915	300	2,776%	2,71	2095,673	0,210	0,754	40,135	12,662056	0,030	2,883	2,2	0,037	0,017
B2		2574,482	2571,892	2571,872			2,61										

B2	33,65	2574,482	2571,892	2571,872	300	1,447%	2,61	1787,862	0,179	0,773	35,084	10,802262	0,025	2,918	2,2	0,034	0,015	2,248	37,333
B3		2573,575	2571,385	2571,065			2,51												
B3	37,2	2573,575	2571,385	2571,065	300	2,315%	2,51	658,892	0,066	0,384	6,419	3,9810255	0,009	3,143	2,2	0,037	0,005	2,243	8,661
B5		2572,494	2570,204	2569,534			2,96												
B5	33,54	2572,494	2570,204	2569,534	300	0,874%	2,96	1654,104	0,165	0,742	31,168	9,9940964	0,023	2,939	2,2	0,034	0,013	2,247	33,415
B6		2571,641	2569,241	2569,241			2,4												
B7	128,88	2569,841	2566,041	2566,041	300	1,109%	3,8	6268,978	0,627	0,926	147,475	37,877165	0,087	2,665	2,2	0,129	0,051	2,379	149,854
H1		2566,732	2564,612	2564,242			2,49												
H2	117,126	2571,841	2569,881	2569,881	300	1,021%	1,96	4920,617	0,492	0,873	109,120	29,730368	0,069	2,711	2,2	0,117	0,040	2,357	111,477
H3		2571,735	2568,685	2568,685			3,05												
H5	39,4	2573,841	2572,041	2572,041	300	2,538%	1,8	1879,728	0,188	0,936	44,654	11,357317	0,028	2,900	2,2	0,039	0,016	2,255	46,909
H4		2572,841	2571,041	2571,041			1,8												
H3	143,611	2571,735	2568,685	2568,685	400	0,691%	3,05	10621,491	1,062	0,932	251,410	64,175049	0,149	2,562	2,2	0,144	0,087	2,430	253,840
H6		2570,346	2567,692	2567,692			2,654												
H8	143,611	2565,061	-	2564,266	400	0,479%	0,795	6917,981	0,692	0,903	158,637	41,798441	0,096	2,645	2,2	0,144	0,056	2,400	161,037
H7		2570,346	2563,578	2563,178			7,168												
B4	66,418	2566,58	-	2564	300	0,980%	2,58	664,266	0,066	0,885	14,924	4,0134952	0,011	3,092	2,2	0,066	0,007	2,273	17,197
A3		2565,69	2563,349	2563,345			2,345												
B6	33,5	2571,641	2569,241	2569,241	400	9,552%	2,4	822,163	0,082	0,901	18,805	4,9675088	0,011	3,092	2,2	0,034	0,007	2,240	21,046
B7		2569,841	2566,041	2566,041			3,8												
B7	43,6	2569,841	2566,041	2566,041	400	10,654%	3,8	606,687	0,061	0,875	13,475	3,6656029	0,009	3,143	2,2	0,044	0,005	2,249	15,724
A4		2563,932	2561,396	2560,633			3,299												
A4	103,95	2563,932	2561,396	2560,633	400	2,548%	3,299	2398,580	0,240	0,905	55,133	14,49222	0,034	2,853	2,2	0,104	0,020	2,324	57,457
C		2559,841	2557,984	2557,849			1,992												
H9	35,28	2574,023	-	2572,023	300	2,783%	2	2529,009	0,253	0,616	39,549	15,280272	0,037	2,839	2,2	0,035	0,021	2,257	41,806
H4		2572,841	2571,041	2571,041			1,8												
H4	40,2	2572,841	2571,041	2571,041	300	2,886%	1,8	1859,783	0,186	0,479	22,599	11,236809	0,028	2,900	2,2	0,040	0,016	2,256	24,855
H2		2571,841	2569,881	2569,881			1,96												
H2	25	2571,841	2569,881	2569,881	400	2,560%	1,96	683,502	0,068	0,624	10,836	4,1297191	0,011	3,092	2,2	0,025	0,007	2,232	13,068
B6		2571,641	2569,241	2569,241			2,4												
H10	78,05	2579,661	-	2577,041	300	10,706%	2,62	5745,077	0,575	0,922	134,510	34,711755	0,080	2,681	2,2	0,078	0,047	2,325	136,835
H3		2571,735	2568,685	2568,685			3,05												
H3	61,2	2571,735	2568,685	2568,685	400	6,655%	3,05	1863,333	0,186	0,896	42,386	11,258258	0,028	2,900	2,2	0,061	0,016	2,277	44,663
H1		2566,732	2564,612	2564,242			2,49												
H1	77,9	2566,732	2564,612	2564,242	400	8,284%	2,49	2169,399	0,217	0,906	49,920	13,107509	0,032	2,867	2,2	0,078	0,019	2,297	52,217
A5		2561,473	2557,789	2557,789			3,684												
A5	80	2561,473	2557,789	2557,789	400	1,859%	3,684	1882,000	0,188	0,755	36,082	11,371044	0,028	2,900	2,2	0,080	0,016	2,296	38,378
D		2558,115	2556,302	2556,712			1,403												
H11	37,05	2572,02	-	2569,433	300	4,699%	2,587	1486,340	0,149	0,922	34,780	8,9804663	0,021	2,962	2,2	0,037	0,012	2,249	37,029
H6		2570,346	2567,692	2567,692			2,654												
H6	63,05	2570,346	2567,692	2567,692	400	6,525%	2,654	1486,340	0,149	0,922	34,780	8,9804663	0,021	2,962	2,2	0,063	0,012	2,275	37,055
H7		2570,346	2563,578	2563,178			7,168												

H7	110,075	2570,346	2563,578	2563,178	500	4,571%	7,168	3699,641	0,370	0,912	85,712	22,353231	0,053	2,765	2,2	0,110	0,031	2,341	88,052
A7		2559,885	2558,146	2558,146			1,739												
A7	71,48	2559,885	2558,146	2558,146	500	5,919%	1,739	1927,912	0,193	0,856	41,893	11,648444	0,028	2,900	2,2	0,071	0,016	2,287	44,181
E		2555,82	2553,915	2553,535			2,285												
A8	71,48	2551,755	2549,684	2548,924	500	4,856%	2,831	1927,912	0,193	0,856	41,893	11,648444	0,028	2,900	2,2	0,071	0,016	2,287	44,181
E		2547,69	2545,453	2544,313			3,377												
A9	81,61	2557,17	2555,513	2555,425	500	5,124%	1,745	2257,000	0,226	0,885	50,710	13,636794	0,032	2,867	2,2	0,082	0,019	2,300	53,011
F		2553,573	2551,243	2551,238			2,335												
A11	101,481	2556,937	2555,223	2555,223	500	6,271%	1,714	2503,747	0,250	0,895	56,918	15,127639	0,037	2,839	2,2	0,101	0,021	2,323	59,240
G		2551,708	2548,859	2548,859			2,849												
G1	103,417	2559,937	-	2557,937	500	2,624%	2	7741,110	0,774	0,904	177,683	46,771787	0,108	2,623	2,2	0,103	0,063	2,366	180,049
A11		2556,937	2555,223	2555,223			1,714												
A12	98,935	2555,137	2553,423	2553,423	500	5,880%	1,714	1539,260	0,154	0,849	33,191	9,3002089	0,023	2,939	2,2	0,099	0,013	2,312	35,503
H		2550,758	2547,606	2547,606			3,152												
G2	121,969	2565,511	-	2560,885	500	7,468%	4,626	8242,545	0,824	0,856	179,136	49,801457	0,115	2,612	2,2	0,122	0,067	2,389	181,525
A13		2555,575	2551,776	2550,776			4,799												
A13	100,05	2555,575	2551,776	2550,776	500	4,124%	4,799	2112,542	0,211	0,884	47,425	12,763979	0,030	2,883	2,2	0,100	0,017	2,317	49,743
J		2549,913	2546,65	2546,325			3,588												
G3	107,64	2556,06	-	2553,76	500	1,208%	2,3	3368,022	0,337	0,912	78,001	20,349589	0,048	2,783	2,2	0,108	0,028	2,336	80,337
A14		2553,06	2552,46	2552,46			0,6												
A14	116	2553,06	2552,46	2552,46	500	7,443%	0,6	2992,842	0,299	0,907	68,894	18,082751	0,044	2,804	2,2	0,116	0,025	2,341	71,235
K		2546,297	2543,826	2543,388			2,909												
G4	104,63	2557,471	2555,371	2555,371	400	2,581%	2,1	2379,974	0,238	0,902	54,521	14,379803	0,034	2,853	2,2	0,105	0,020	2,325	56,846
A15		2554,471	2552,671	2552,671			1,8												
G5	101,77	2555,363	-	2553,263	400	2,653%	2,1	4514,416	0,451	0,913	104,671	27,276101	0,064	2,725	2,2	0,102	0,037	2,339	107,010
A16		2552,363	2550,563	2550,563			1,8												
A16	128,88	2552,363	2550,563	2550,563	400	6,841%	1,8	3921,810	0,392	0,915	91,075	23,695576	0,055	2,756	2,2	0,129	0,032	2,361	93,436
L		2544,737	2541,746	2541,472			3,265												
A18	133,44	2550,655	2548,855	2548,855	400	7,044%	1,8	3424,958	0,342	0,887	77,123	20,693596	0,048	2,783	2,2	0,133	0,028	2,361	79,485
M		2542,051	2539,456	2539,07			2,981												
A19	129,32	2550,392	2547,109	2547,083	400	7,305%	3,309	3169,409	0,317	0,909	73,113	19,149569	0,046	2,793	2,2	0,129	0,027	2,356	75,469
N		2539,691	2537,636	2537,62			2,071												
A21	122,012	2547,533	2545,733	2545,733	400	8,068%	1,8	3437,677	0,344	0,905	79,039	20,770444	0,048	2,783	2,2	0,122	0,028	2,350	81,389
O		2538,74	2535,889	2535,454			3,286												
G6	122,012	2551,761	-	2549,961	400	0,994%	1,8	3315,981	0,332	0,896	75,440	20,035157	0,048	2,783	2,2	0,122	0,028	2,350	77,790
A21		2548,913	2548,748	2545,733			3,18												
G7	90	2550,906	-	2548,906	400	3,111%	2	2370,613	0,237	0,898	54,042	14,323244	0,034	2,853	2,2	0,090	0,020	2,310	56,352
A22		2547,906	2546,106	2546,106			1,8												
A22	119,264	2547,906	2546,106	2546,106	300	10,197%	1,8	3752,317	0,375	0,912	86,877	22,671499	0,053	2,765	2,2	0,119	0,031	2,350	89,227
P		2536,632	2533,945	2533,545			3,087												
G8	93,806	2547,945	-	2546,045	300	3,823%	1,9	4045,607	0,405	0,913	93,739	24,443557	0,057	2,748	2,2	0,094	0,033	2,327	96,067
A23		2544,945	2542,459	2542,445			2,5												
A23	114,916	2544,945	2542,459	2542,445	300	9,024%	2,5	3243,202	0,324	0,915	75,350	19,595426	0,046	2,793	2,2	0,115	0,027	2,342	77,692
Q		2534,898	2532,075	2531,672			3,226												
G9	117,301	2536,28	-	2534,18	300	3,165%	2,1	4131,247	0,413	0,919	96,438	24,960994	0,057	2,748	2,2	0,117	0,033	2,351	98,788
R		2533,28	2530,467	2530,467			2,813												