



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED SANITARIA DE LA UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA SALESIANA – SEDE QUITO, CAMPUS SUR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTOR: Kevin David Lozano Aguilar

TUTOR: María Gabriela Soria Pugo

Quito - Ecuador
2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Kevin David Lozano Aguilar con documento de identificación N° 1105138240; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero del 2025

Atentamente,



Kevin David Lozano Aguilar

1105138240

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Kevin David Lozano Aguilar con documento de identificación N° 1105138240; expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Proyecto Técnico: “Modelación hidráulica de la red sanitaria de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Campus Sur” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero del 2025

Atentamente,



Kevin David Lozano Aguilar

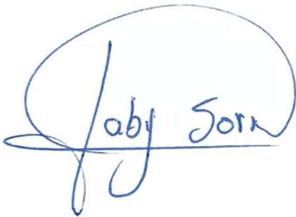
1105138240

**DECLARATORIA DE DIRECCIONAMIENTO PARA EL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, María Gabriela Soria Pugo con documento de identificación N°1803981214, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED SANITARIA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA – SEDE QUITO, CAMPUS SUR, realizado por Kevin David Lozano Aguilar con documento de identificación N° 1105138240, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. María Gabriela Soria Pugo, MSc.

1803981214

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres por que han sido las personas que más me han apoyado a lo largo de la carrera, brindándome consejos y ánimos para sobrellevar diversas situaciones. Cada una de sus palabras de ánimo, fueron un impulso para poder conseguir mis metas. La confianza que depositaron en mi persona fue una inspiración para llegar a culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por brindarme salud y ser una guía en los momentos más difíciles de mi vida. A mis padres por todo el apoyo que me brindaron en diferentes etapas de la carrera y en mi educación en general. A los amigos que he hecho en el transcurso de mi vida universitaria, los cuales me inspiraron a tomar decisiones para la elaboración de este proyecto.

Finalmente quiero expresar mi sincera gratitud a todos los profesores que me brindaron su conocimiento y sabiduría para solventar problemas y dudas surgidas a lo largo de mi formación profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Problema de estudio.	2
1.2.1 Antecedentes	2
1.2.2 Importancia y alcance.....	3
1.2.3 Delimitación	4
1.3 Justificación.....	8
1.4 Objetivos.	11
1.4.1 Objetivo general.	11
1.4.2 Objetivos específicos.....	11

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	12
2.1 Sistema de alcantarillado.....	12
2.2 Sistemas de alcantarillado sanitario.	12
2.3 Sistema de alcantarillado pluvial.....	13
2.4 Sistema de alcantarillado combinado.....	13
2.5 Clasificación de colectores.....	13
2.6 Modelación del sistema de alcantarillado en SewerGEMS.	14

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA	15
--------------------------	----

3.1 Tipo de investigación.	15
3.2 Método	16
3.3 Técnica de recolección de información.....	16
3.4 Proceso técnico de ingeniería civil.....	17
 CAPÍTULO IV	
RECOPILACIÓN DE DATOS	18
4.1 Datos topográficos y arquitectónicos.	18
4.2 Catastro de pozos y cajas de revisión.....	22
4.2.1 Equipo usado para la realización de catastro de cajas y pozos de revisión.....	23
4.2.2 Procedimiento.....	24
4.2.3 Resumen de estado de cajas y pozos de revisión.	25
4.2.4 Trazado del sistema de alcantarillado.	25
4.2.5 Problemáticas surgidas durante el catastro.....	26
4.2.6 Observaciones.	27
4.3 Clasificación de tramos del sistema de alcantarillado.....	31
 CAPÍTULO V	
CRITERIOS DE DISEÑO.....	35
5.1 Parámetros de diseño.....	35
5.2 Sistema de alcantarillado sanitario.....	36
5.2.1 Caudal máximo probable.	36
5.2.2 Conteo de aparatos sanitarios.....	38
5.2.3 Cálculo de aporte de caudales de aparatos sanitarios.....	40

5.2.4 Observaciones.	44
5.3 Sistema de alcantarillado pluvial.....	45
5.3.1 Método racional.....	45
5.3.2 Áreas de aportación.....	47
5.3.3 Coeficientes de escorrentía.....	49
5.3.4 Intensidad de precipitación.....	51
5.3.5 Periodo de retorno.	53
5.3.6 Tiempo de concentración.	56
5.4 Velocidad Máxima.	56
5.5 Velocidad Mínima.....	57
5.6 Pendiente máxima	58
5.7 Pendiente mínima.....	58
5.8 Porcentaje de llenado de tuberías.	58
5.9 Caudales adicionales.	58
5.9.1 Caudal proveniente de un acuífero subterráneo del bloque G.	59
5.9.2 Caudal que aporta al interceptor junto a la quebrada.	59
 CAPÍTULO VI	
MODELACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.	62
6.1 SewerGEMS.....	62
6.2 Ecuaciones de Saint-Venant.....	63
6.3 Consideraciones para el modelado hidráulico.....	64
6.3.1 Solucionador numérico.	64

6.3.2 Catálogo de tuberías	66
6.3.3 Coeficientes de rugosidad	67
6.4 Modelación en el programa SewerGEMS.....	68
6.4.1 Primer escenario.....	69
6.4.2 Segundo escenario.....	78
CAPÍTULO VII	
PROPOSICIÓN DE MEJORAS.....	80
7.1 Primera Mejora.....	81
7.2 Segunda mejora.....	84
7.3 Tercera mejora.....	86
7.4 Cuarta Mejora.....	87
7.5 Mejoras menores.....	90
7.6 Evaluación del sistema de alcantarillado bajo diferentes tiempos de retorno.....	90
7.6.1 Tiempo de retorno a 10 años.....	91
7.6.2 Tiempo de retorno a 25 años.....	93
7.6.3 Comparación de caudales.....	95
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA:.....	103
ANEXOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Puntos georreferenciados.</i>	21
Tabla 2 <i>Equipo usado para catastro de cámaras de revisión.</i>	23
Tabla 3 <i>Aparatos sanitarios existentes dentro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur.</i>	38
Tabla 4 <i>Tipos de aparatos sanitarios y su aporte de caudal mínimo.</i>	40
Tabla 5 <i>Aportes de caudal sanitario.</i>	43
Tabla 6 <i>Valores usados para la determinación del coeficiente de escorrentía.</i>	49
Tabla 7 <i>Coeficientes de escorrentía para zonas rurales.</i>	50
Tabla 8 <i>Tabla de intensidad, duración y frecuencia de la estación IZOBAMBA.</i>	53
Tabla 9 <i>Periodos de retorno para diferentes ocupaciones de área.</i>	55
Tabla 10 <i>Velocidades máximas en función del material de tubería.</i>	57
Tabla 11 <i>Catálogo de tuberías de desagüe</i>	66
Tabla 12 <i>Coeficientes de rugosidad.</i>	67
Tabla 13 <i>Resultados obtenidos del programa SewerGEMS para el tramo comprendido entre los pozos “E1” y “V4”.</i>	81
Tabla 14 <i>Reporte de resultados obtenidos en SewerGEMS para el rediseño del tramo comprendido desde el “Pozo 0” hasta el “Pozo 8”.</i>	83
Tabla 15 <i>Resultados obtenidos del programa SewerGEMS para el tramo comprendido entre los pozos “G4” y “G7”.</i>	89
Tabla 16 <i>Caudales de descarga del sistema de alcantarillado rediseñado para tiempos de retorno de 5, 10 y 25 años.</i>	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito.....	5
Figura 2 Parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito.	6
Figura 3 Visión panorámica del campus universitario.....	6
Figura 4 Área del campus universitario.	7
Figura 5 Bloque H.....	9
Figura 6 Entrada vehicular del bloque E.....	9
Figura 7 Plano antiguo de proyecto constructivo.....	19
Figura 8 Ortofoto del campus universitario.	20
Figura 9 Mapa Arquitectónico Actual.....	20
Figura 10 Superficie en 3D.	22
Figura 11 Punto georreferenciado.	26
Figura 12 Caja de revisión tapada.	28
Figura 13 Caja "D4"	29
Figura 14 Caja "B9".....	30
Figura 15 Caja "M17".	31
Figura 16 Tramos iniciales del sistema de alcantarillado.	32
Figura 17 Ubicación de pozos con tapas de acero redondas.	33
Figura 18 Tapa de acero.....	34
Figura 19 Vista en planta de la bodega.	45
Figura 20 Áreas de aportación.	48
Figura 21 Pluviógrafo.	52
Figura 22 Solucionador numérico del programa.....	65

Figura 23 Librerías de SewerGEMS.	68
Figura 24 Proyecto importado al programa SewerGEMS.	69
Figura 25 Tramo colector junto a la quebrada.	71
Figura 26 Perfil de tramo junto a la quebrada.....	71
Figura 27 Obra de desvío.	72
Figura 28 Esquema de tubería tapada.	73
Figura 29 Resultados de simulación para sección con tubería tapada.	74
Figura 30 Caja con problema de sedimentación.	75
Figura 31 Ubicación de la caja de revisión "B9".	76
Figura 32 Resultados de simulación para la caja "B9".	77
Figura 33 Perfil de tramo ubicado bajo el bloque E.....	78
Figura 34 Perfil de sección entre los pozos "E1" hasta "V4".....	80
Figura 35 Esquema en planta de ubicación de colector junto a la quebrada.....	82
Figura 36 Perfil de tramo rediseñado.	83
Figura 37 Esquema de reconexión de tubería.	85
Figura 38 Perfil de sección modificada.....	86
Figura 39 Perfil de sección modificada para un correcto funcionamiento.....	87
Figura 40 Esquema del cruce de dos tuberías	88
Figura 41 Perfil de tramo modificado.	89
Figura 42 Tiempos de retorno en la interfaz del programa.	91
Figura 43 Resultados de simulación con un tiempo de retorno de 10 años.	92
Figura 44 Perfil de tramo ubicado en la parte trasera del bloque B.....	93
Figura 45 Esquema de vista en planta de colector.	94
Figura 46 Perfil de tramo rediseñado.	95
Figura 47 Ubicación de sitios de descarga de caudales.	96

Figura 48 Sumidero parcialmente tapado.	99
Figura 49 Tubería de sumidero parcialmente tapada.	99

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre la modelación del sistema de alcantarillado de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Campus Sur, del cual previamente no se conocían datos técnicos ya que nunca se había realizado una evaluación de su funcionamiento, ni se conocía el estado actual de sus estructuras. Se realizó el modelado mediante uso del programa SewerGEMS debido a sus herramientas las cuales facilitaron el ingreso y modificación de información, a partir de la cual se simuló el funcionamiento de la red con el fin de obtener resultados del comportamiento hidráulico del sistema. Para la obtención de datos, se optó por solicitar la información topográfica y arquitectónica al área de Gestión Documental de la universidad, para posteriormente realizar un catastro de pozos y cajas de revisión, de las cuales se consiguieron dimensiones que fueron ingresadas en el programa, así como también información importante sobre el estado de sus estructuras internas. La obtención de caudales de aporte hacia los colectores se realizó mediante una probabilidad de uso para los caudales sanitarios y con el método racional para el flujo proveniente de aguas lluvias. Con la modelación se evaluaron diferentes escenarios, bajo diferentes condiciones partir de los cuales se obtuvieron resultados que fueron comparados entre sí, con el fin de analizar un rediseño que con los menores cambios posibles garantice un mejor funcionamiento del sistema de alcantarillado. Finalmente, tras la simulación del sistema rediseñado, se pudo concluir las mejoras propuestas son suficientemente adecuadas para funcionar bajo tiempos de retorno incluso mayores al recomendado por las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q, sin embargo se determinaron que existen zonas donde se requieren trabajos importantes que necesitan de una considerable inversión de recursos debido a sus características constructivas, así como también algunos tramos que tienen un funcionamiento adecuado sin la necesidad de un rediseño.

Palabras clave: Modelación, catastro, rediseño, caudales.

ABSTRACT

This degree work deals with the modeling of the sewerage system of the Salesian Polytechnic University – Quito Campus, South Campus, of which previously no technical data were known since an evaluation of its operation had never been carried out, nor was the current state of its structures known. The modeling was carried out using the SewerGEMS program due to its tools which facilitated the entry and modification of information, from which the operation of the network was simulated in order to obtain results of the hydraulic behavior of the system. To obtain data, it was decided to request topographic and architectural information from the Document Management area of the university, to later carry out a registry of wells and review boxes, from which dimensions that were entered into the program were obtained, as well as important information on the state of their internal structures. The obtaining of supply flows to the collectors was carried out through a probability of use for the sanitary flows and with the rational method for the flow from rainwater. With the modeling, different scenarios were evaluated, under different conditions from which results were obtained that were compared with each other, in order to analyze a redesign that with the least possible changes guarantees a better functioning of the sewerage system. Finally, after the simulation of the redesigned system, it was possible to conclude that the proposed improvements are sufficiently adequate to operate under return times even greater than that recommended by the Sewerage System Design Standards for the EMAAP-Q, however it was determined that there are areas where important works are required that require a considerable investment of resources due to their construction characteristics. as well as some sections that have an adequate operation without the need for a redesign.

Keywords: Modeling, cadastre, redesign, flows.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

1.1 Introducción

Los sistemas de alcantarillado en la actualidad son los métodos de saneamiento más utilizados en las ciudades modernas en todo el mundo, debido a lo eficaces que resultan para el drenaje de caudales. La ciudad de Quito cuenta en su mayoría con sistemas combinados de evacuación de caudales, esto quiere decir que tanto las aguas provenientes de uso doméstico, como el de las lluvias son evacuadas por las mismas tuberías. El servicio de alcantarillado cuenta con 5824 km de redes principales y secundarias las cuales cubren aproximadamente un 92.27% del Distrito Metropolitano según la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.

El presente proyecto trata sobre la modelación en el programa SewerGEMS del sistema de alcantarillado del Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Quito, en donde mediante el catastro de pozos y cajas de revisión, además de información topográfica y arquitectónica se analizó el comportamiento el flujo a través de las de los colectores, con la finalidad de identificar fallas y proponer mejoras para el correcto desempeño de la red.

Las características principales de este proyecto son la estimación de caudales sanitarios, los mismos que fueron calculados mediante una probabilidad de uso de aparatos sanitarios y el catastro de cajas de revisión. El área correspondiente al proyecto tiene la peculiaridad de ser pequeña, a diferencia de proyectos de sistemas de alcantarillado donde se abarcan áreas considerables, el terreno del campus ronda por aproximadamente los 53867.542 m². También

es importante mencionar que se trabaja con el aporte de caudales sanitarios de edificios académicos y no de viviendas como tal.

El sistema de alcantarillado nunca había sido evaluado, razón por la cual no se tenía información con respecto a las estructuras hidrosanitarias, ni el funcionamiento de estas, por ese motivo se tuvo el interés de evaluar la red con la ayuda del programa SewerGEMS, dado que ofrece funciones que facilitan el cálculo y visualización de resultados bajo diferentes configuraciones.

1.2 Problema de estudio

1.2.1 Antecedentes

El Campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana se encuentra ubicado en la parroquia de Quitumbe del cantón Quito, entre las avenidas Rumichaca Ñan y Morán Valverde. El área se encuentra rodeado en su mayoría por terrenos urbanos, donde se ubican dos unidades educativas como la escuela “Rafael Bucheli” y la “Unidad Educativa Municipal Quitumbe”, cerca se pueden observar varias viviendas que cuentan con más de un piso, negocios, una cancha deportiva, sitios de comida y gran cantidad de vehículos.

En un estudio realizado para un proyecto del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. “La universidad está construida sobre la parte baja y plana del callejón interandino, presenta un relieve moderado y fuertemente ondulado por lo que existe la presencia de suelos negros, francos arenosos, profundos que presentan un drenaje bueno.” (Rogel y Gallardo, 2014, p.22). Además, en su trabajo de titulación “Diseño de una planta de tratamiento

de aguas residuales para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur”, valoraron la calidad paisajística de la universidad como “Sistema Paisajístico Cultural Densificado” debido a su morfología llana, las pendientes no superan el 10% de elevación.

Según datos del INAMHI, en el sitio la época lluviosa entre los meses de febrero a mayo, mientras que la época de mayor sequía se da entre julio y agosto. El sistema de alcantarillado con el que opera actualmente es de tipo combinado en la mayoría de las secciones de colectores, por lo que los caudales de las aguas servidas y las aguas pluviales se conducen por las mismas tuberías.

Según la memoria técnica para el estudio del caudal que evacua en la quebrada colindante a la Universidad Politécnica Salesiana, realizado por Deisy Chicaiza para la descarga de caudales de aguas residuales el campus universitario cuenta con 3 puntos de descarga final:

- El primero se dirige hacia el sistema de alcantarillado de la avenida Rumichaca Ñan.
- El segundo punto se efectúa hacia la quebrada que colinda con el campus universitario.
- EL tercer punto de descarga se ubica junto a las instalaciones del ADAUPS.

1.2.2 Importancia y alcance

La información topográfica es importante para identificar la ubicación de sumideros, cajas de revisión, tuberías y pozos. También, permite saber las pendientes del sistema. Modelar el sistema de alcantarillado ayuda a conocer a plenitud el funcionamiento hidráulico de la red, lo cual facilitará la evaluación de alternativas de rediseño.

La proposición de algún rediseño es importante para corregir falencias que afecten a la correcta circulación del caudal, lo cual puede generar acumulación de agua en zonas que no están previstas para almacenar agua o erosión en las mismas para el caso de flujos muy fuertes.

Para la realización del proyecto, se consideraron actividades principales y de gran importancia para la obtención de datos necesarios para el modelamiento y evaluación hidráulica, dichas actividades son las siguientes:

- **Recolección de información primaria:** Se recolectó la mayor cantidad de información que resulto ser útil para el desarrollo del proyecto.
- **Levantamiento topográfico:** Se realizó un levantamiento topográfico para la obtención de elevaciones de las tapas de las diferentes cámaras de revisión encontradas.
- **Catastro de pozos y conteo de aparatos sanitarios:** Mediante la medición se obtuvieron los datos de las dimensiones de las cámaras de inspección y se realizó un conteo y clasificación de aparatos sanitarios.
- **Modelado hidráulico:** Mediante el uso del programa computacional SewerGEMS y con los datos que se obtuvieron del catastro y conteo de aparatos sanitarios, se simula el comportamiento del sistema de alcantarillado.
- **Análisis de resultados:** Los datos obtenidos del programa fueron analizados y comparados bajo diferentes circunstancias.

1.2.3 Delimitación

El campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana, se encuentra ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Distrito Metropolitano de Quito, en la parroquia urbana Quitumbe, entre la Av. Moran Valverde y Rumichaca Ñan s/n, Quito 170146. Como referencia

principal, el acceso principal se encuentra ubicado junto a la estación del metro “Morán Valverde”.

Figura 1

Parroquias urbanas del Distrito Metropolitano de Quito.



Nota. Mapa político de las parroquias urbanas pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito, sus coordenadas referenciales son 0°13'07"S 78°30'35"O. Fuente: ViajandoX.

Figura 2

Parroquias rurales del Distrito Metropolitano de Quito.



Nota. Mapa político de las parroquias rurales pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito.

Fuente: ViajandoX.

Figura 3

Visión panorámica del campus universitario.



Nota. El polígono de color amarillo representa el área del campus universitario. Elaborado por: El autor a través del programa Google Earth Pro.

Figura 4

Área del campus universitario.



Nota. El área se encuentra delimitada por la línea de color azul celeste. Fuente: Smart Campus UPS.

En la aplicación “Smart Campus Online” de ArcGIS Online, muestra un área de aproximadamente 53867.542 m². También posee información de cómo están conformados los espacios y el nombre de los edificios que lo componen.

Las áreas que se tuvieron en cuenta en el diseño del sistema de alcantarillado son los siguientes: Siendo las principales edificaciones el bloque A, B, C, D, E, F, G, H, I, J (Taller de Mecánica Automotriz). Además de otras construcciones como el comedor, cafetería, sala de

enfermería, bodega, parqueaderos, canchas, capilla, aula magna y salas de uso múltiple. También existe la presencia de dos canchas.

Una de las características más importantes es la predominancia de áreas verdes en el terreno, así como también la presencia de grandes pendientes en determinadas secciones, razón por la cual se pueden identificar diferentes cotas de terreno siendo la parte más alta de 2892 m s.n.m.; que es el lugar donde se ubica el bloque H, mientras que la parte más baja corresponde al fondo de la quebrada con una cota de 2872 m s.n.m.

1.3 Justificación

El sistema de alcantarillado no ha sido diseñado en su totalidad, se ha ido construyendo conforme al desarrollo de las edificaciones, por lo cual se estima lleva funcionando con su diseño original desde alrededor del año 2000.

Al estar el campus en continuo mejoramiento y modificación de sus estructuras, es lógico suponer que el sistema de alcantarillado habrá tenido modificaciones las cuales se revisaron mediante el catastro de cajas de revisión y pozos. Actualmente y debido a la presencia de lluvias después de una larga sequía se detectaron algunas fallencias en algunas estructuras. Existen problemas de inundaciones en los alrededores del Bloque H del campus, esto debido a un incorrecto funcionamiento de los sumideros lo cual ocasiona acumulación de agua en el sitio.

Figura 5

Bloque H



Nota. Vista de la entrada principal del bloque H. Fuente: Smart Campus UPS.

En el área alrededor del Bloque E, se ha podido evidenciar el mal funcionamiento de las estructuras hidráulicas de drenaje pluvial que han provocado un desborde de agua, lo cual ha ocasionado el flujo incorrecto del agua de lluvia.

Figura 6

Entrada vehicular del bloque E.



Nota. Fotografía de la entrada vehicular frente al bloque E, donde se observa un mal funcionamiento del sumidero. Elaborado por: El autor.

El proyecto tiene como objetivo proponer mejoras que solventen estos y otros posibles problemas que se determinen a partir del catastro y modelamiento de sistema de alcantarillado. El desarrollo y diseño de estas propuestas, podrían ser desarrolladas en un siguiente estudio.

Existen planos de estudios que se han realizado previamente, los cuales sirvieron de ayuda para la identificación de las estructuras hidráulicas, sin embargo, también fue necesario un plano topográfico para la identificación de las alturas geográficas, desniveles y pendientes. En un proyecto de grado, los autores (Quishpe y Montecinos, 2016) realizaron un plano topográfico a escala de 1:1000 para la posterior realización de un diseño de un sistema de alcantarillado, su plano les sirvió para identificar la dimensión del proyecto y observar los desniveles de la tubería que se va a proyectar.

El campus cuenta con muchas estructuras hidráulicas destinadas al drenaje de caudales, por lo que será necesario realizar un estudio para determinar medidas y características de cada una de ellas, como hicieron (Cárdenas y Brian, 2023) en su proyecto “Modelación del Alcantarillado de la Calle Pío Bravo, Cuenca” donde determinaron los diámetros de diferentes tuberías y también las pendientes de los pozos de revisión.

Mediante el levantamiento catastral se evalúa el estado de deterioro del sistema de alcantarillado y determina la posible existencia de estructuras en mal estado, las cuales se toman en cuenta para el rediseño. Los autores (Cabay y Hervas, 2020) en su tesis “Rediseño del sistema de alcantarillado combinado y diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio Selva Alegre, ubicado en la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha” realizaron una evaluación del sistema de alcantarillado, que les permitió constatar

la existencia de conductos y pozos de revisión en buen estado, razón por la cual se pudo optimizar recursos, de la misma manera para este sistema de alcantarillado se pretende reutilizar las cajas y pozos de revisión existentes con la finalidad de evitar realizar muchos cambios.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar y modelar el sistema de alcantarillado del campus Sur de la Universidad Politécnica Salesiana mediante el uso del programa SewerGEMS y levantamiento catastral de sumideros, pozos y cajas de revisión, para sectorizar la red de colectores y proponer mejoras en caso de deficiencias identificadas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar un levantamiento topográfico de todo el terreno correspondiente al campus Sur, mediante un sobrevuelo con dron y procesando los datos en el programa Civil 3D, para ubicar geográficamente las estructuras que serán catastradas.
- Catastrar pozos y cajas de revisión, mediante inspección visual y el uso de una cinta métrica para la obtención de medidas de tirantes, diámetros, longitudes y características.
- Determinar los caudales de aportación al sistema de alcantarillado, utilizando la Norma Hidrosanitaria Ecuatoriana para el cálculo de caudal sanitario, y el método racional para el caudal pluvial, complementando con mediciones in situ de marcas de agua dejadas durante la época de lluvias, para evaluar el comportamiento hidráulico de la red.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistema de alcantarillado

Un sistema de alcantarillado es un conjunto de estructuras y tuberías conectadas entre sí, cuyo propósito es el de recibir y conducir las aguas servidas, ya sean de procedencia por el uso humano o las precipitaciones de lluvia.

2.2 Sistemas de alcantarillado sanitario

Es aquel sistema que recoge aguas provenientes de uso doméstico, comercial y/o industrial. Estas aguas negras tienden a ser por lo general alcalinas o neutras, y bastante diluidas, sin embargo, bajo un buen criterio de diseño y con velocidades adecuadas que oscilen entre 0.6 a 6 m/s para el arrastre de desperdicios que puedan provocar podredumbre, la probabilidad de problemas por corrosión queda minimizada.

Debido a un inadecuado diseño del sistema de alcantarillado, con unas pendientes no idóneas se puede generar acumulación de materia orgánica que al entrar en estado de putrefacción que origina lo que se denomina como “gases cloacales” lo cual genera un olor pestilente. Adicionalmente, la presencia de aguas sulfatadas puede junto con la putrefacción de restos de materia orgánica puede dar origen a la formación de ácido sulfhídrico, un gas que, al inhalarse en determinadas concentraciones, puede ser mortal para una persona. Por este motivo es que se un sistema de alcantarillado deberá de tener un adecuado diseño.

2.3 Sistema de alcantarillado pluvial

Se refiere al sistema que recolecta, conduce y desfoga el agua de lluvias proveniente de la precipitación, aunque dependiendo de la zona el líquido puede encontrarse en estado sólido en forma de granizo o nieve. En la zona donde se encuentra ubicado el campus universitario, la presencia de granizo es un evento que ocurre en raras ocasiones.

La precipitación se origina debido a fenómenos atmosféricos y se mide tomando en cuenta la altura de agua que cubre el terreno durante el tiempo que dura el evento, las unidades de medida por lo general son de milímetros por hora (mm/h).

2.4 Sistema de alcantarillado combinado

Es aquel sistema cuyo diseño se ha planificado para la recolección de aguas sanitarias y de lluvias. Normalmente no deberían ser comunes este tipo de sistemas de alcantarillado en un entorno urbano, debido a estar ubicado en zonas privilegiadas por parte de accidentes geográficos y posibles restricciones en cuanto al desarrollo urbanístico, no obstante, en la ciudad de Quito es muy usual encontrarse este tipo de colectores.

2.5 Clasificación de colectores

Se puede clasificar la red según los tramos en diferentes tipos:

- **Tramos iniciales:** son aquellos que recogen de manera directa el aporte de caudal de las edificaciones.

- Tramos secundarios: son los encargados de recibir los caudales por parte de los tramos iniciales y conectan con los tramos principales.
- Tramos principales: conducen los caudales de los tramos secundarios hacia el sitio donde será vertido o en el mejor de los casos a una planta de tratamiento.
- Interceptores: estos colectores se ubican junto a un canal o río y su función es la de evitar que los caudales de aguas servidas se viertan directamente sobre estas corrientes de agua.

2.6 Modelación del sistema de alcantarillado en SewerGEMS

SewerGEMS es un programa computacional para modelación hidráulica perteneciente a la empresa Bentley, la cual se especializa en el desarrollo de programas para la construcción, el diseño y operación de infraestructuras.

El programa usa diferentes motores de cálculo según se requiera para diferentes situaciones y proporciona resultados numéricos y visuales del comportamiento de una red de alcantarillado bajo determinadas condiciones que se le hayan sido asignadas.

Resulta ser muy conveniente para el diseño y evaluación de sistemas de alcantarillado debido a que posee una interfaz muy intuitiva y fácil de usar además de herramientas de edición bastante completas que permiten tener un mejor ritmo de trabajo y precisión en la obtención de resultados.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

Para la evaluación del sistema de alcantarillado se realizó dos tipos de investigación, la investigación de campo y la investigación documental. Se optó por usar estos dos tipos de investigaciones debido a que el proyecto requiere de datos técnicos que pueden ser encontrados mediante recopilación de información ya existente, así como de levantamiento de datos en campo.

La investigación documental corresponde a la recolección de información perteneciente a planos arquitectónicos y topográficos, ya que en ellos se puede encontrar datos, ubicaciones y dimensiones de las edificaciones y distintas áreas constructivas del campus. También se recurrió a la búsqueda de información correspondiente a normas y metodologías para la realización de cálculos, además de datos establecidos y probados mediante estudios como son los coeficientes para distintas propiedades, entre otro tipo de información.

Para la recolección de datos técnicos de las estructuras se realizó una investigación de campo mediante la medición de secciones de los colectores del sistema de alcantarillado, mediante la utilización de determinadas herramientas. Mediante inspección visual se realizó el reconocimiento y conteo de aparatos sanitarios para el respectivo cálculo de aportes de caudales a las cámaras de inspección.

3.2 Método

El levantamiento de información fue realizado principalmente mediante el método cuantitativo debido a que se requirió de conocer valores numéricos de diferentes tipos de análisis. Debido a que un sistema de alcantarillado se ve sometido a la presencia de caudales, fue necesario realizar mediciones de las dimensiones de los diferentes tipos de elementos constructivos en la red de alcantarillado.

El método cualitativo también fue utilizado en vista de que se requirió analizar aspectos constructivos y la presencia de ciertos elementos en las cámaras de inspección. El deterioro de los elementos que componen los colectores, así como la presencia de materiales sedimentarios y la cantidad de estos, fueron observados y analizados para una clasificación de acuerdo con criterios propios.

3.3 Técnica de recolección de información

Para la obtención de planos e información geográfica del terreno del proyecto se investigó la existencia de los mismo en el área de Gestión Documental de la Universidad Politécnica Salesiana, ya que el campus universitario ha sufrido diversos cambios a través de los años, donde se han desarrollado proyectos constructivos, de forma que la información de estos se ha ido almacenando.

Para las mediciones se hizo uso de herramientas de medición como son las cintas y flexómetros, debido a que se requirieron datos con un alto grado de precisión con respecto a las dimensiones de las estructuras. La inspección visual fue utilizada para determinar el grado de desgaste, problemas constructivos o presencia de sedimentos en las cajas y pozos de revisión,

de la misma manera se realizó una clasificación en base a formas y características de los aparatos sanitarios encontrados, de los cuales también se llevó a cabo una contabilización.

3.4 Proceso técnico de ingeniería civil

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo un orden de las actividades necesarias para la obtención de resultados. Bajo esta premisa se siguió una estructura que permitió la recolección y análisis de información en un tiempo acorde al planificado. El proceso se realizó en el siguiente orden:

1. Obtención de información previa mediante solicitud al área de Gestión Documental de Universidad Politécnica Salesiana.
2. Conteo de aparatos sanitarios.
3. Catastro de pozos y cajas de revisión.
4. Análisis y modificación de planos y material georreferencial obtenidos.
5. Trasado del sistema de alcantarillado.
6. Modelación en el programa SewerGEMS.
7. Análisis de resultados.
8. Proposición de mejoras.

CAPÍTULO IV

RECOPIACIÓN DE DATOS

4.1 Datos topográficos y arquitectónicos

Para la obtención de los datos topográficos y arquitectónicos que se utilizó en el modelamiento del sistema de alcantarillado, se optó por recopilar información ya existente, debido a que la Universidad cuenta con este material, lo cual facilita en gran medida el catastro de cajas de revisión y pozos, así como también datos técnicos de los bloques y estructuras construidas en el campus.

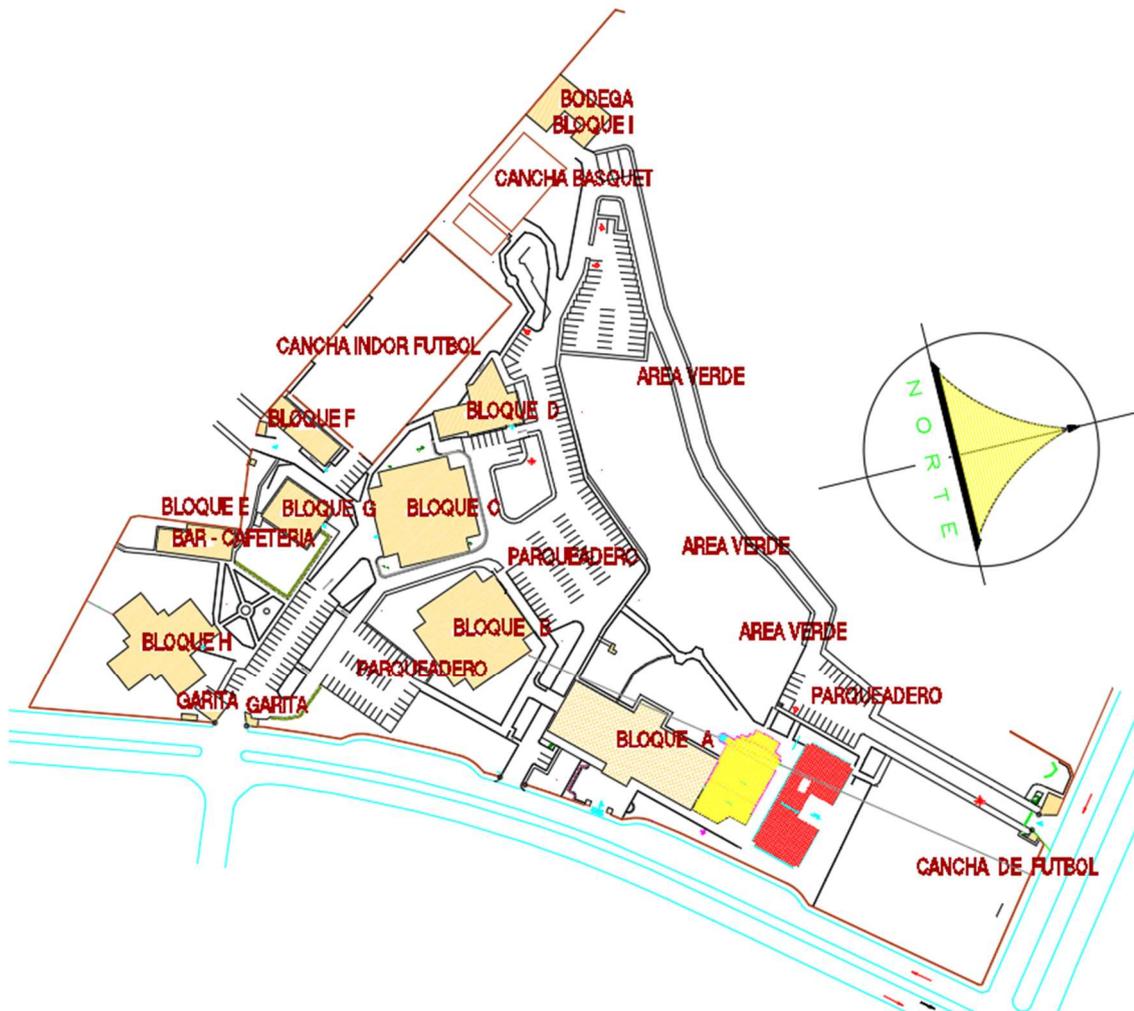
En concreto se usaron tres fuentes principales de información:

- Planos arquitectónicos, estructuras e hidrosanitarios de los edificios que conforman en el campus.
- Ortofoto del campus
- Monografía de puntos GPS junto a la quebrada

El plano arquitectónico corresponde a una versión antigua del campus universitario, razón por la cual se tuvo que modificar para que se ajuste a las características actuales del terreno.

Figura 7

Plano antiguo de proyecto constructivo.



Nota. Imagen de plano antiguo simplificado, con una configuración constructiva diferente a la actual. Fuente: Gestión Documental UPS.

Para la modificación del plano se recurrió al uso de la ortofoto obtenida de la recopilación de información y también mediante mediciones in situ para determinar las dimensiones de las secciones que serán modificadas con el fin de obtener un plano acorde a las necesidades requeridas para la modelación.

Como resultado se logró dibujar un plano actualizado que sirve para la implantación del trasado del sistema de alcantarillado. (Ver anexo 1).

Figura 8

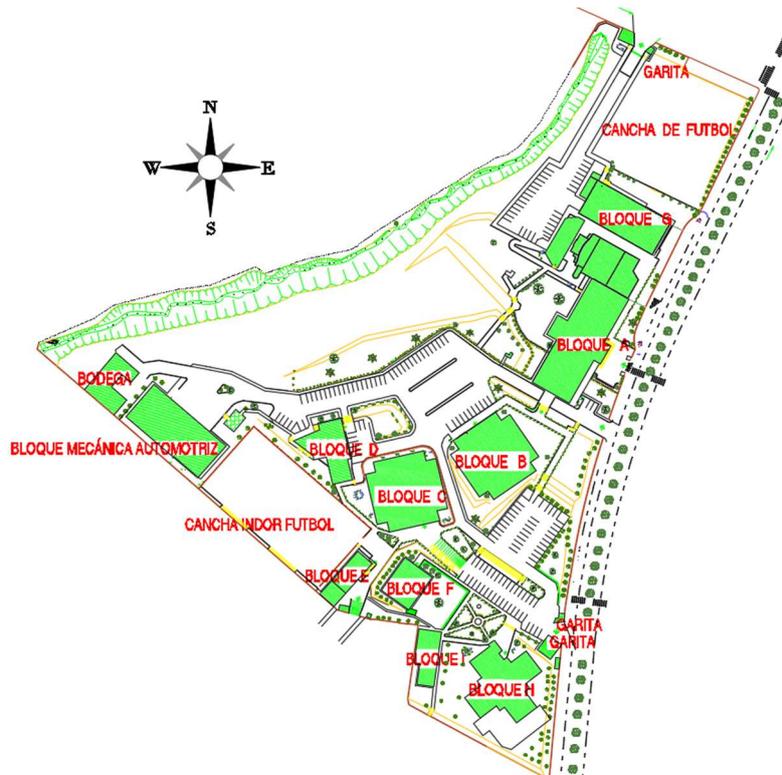
Ortofoto del campus universitario.



Nota. Ortofoto correspondiente al campus universitario. Fuente: Gestión Documental UPS.

Figura 9

Mapa Arquitectónico Actual.



Nota. Mapa de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito, Campus Sur con estructuras actuales. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Adicional al plano arquitectónico, también se pudo obtener una superficie de terreno a partir de la información topográfica del plano. Cabe recalcar que la información de la topografía se corrigió y verifico con la información de los puntos georreferenciados que se encuentran junto a la quebrada.

Tabla 1

Puntos georreferenciados.

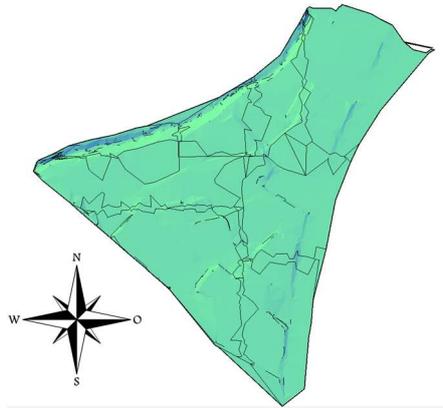
Nombre del Punto	Norte (m)	Este (m)	Elevación (m s.n.m.)
GPS 01 – (U.P.S)	9968938.295	772752.871	2876.978
GPS 02 – (U.P.S)	9968822.893	772642.717	2884.143
GPS 03 – (U.P.S)	9968782.294	772525.217	2886.076

Nota. Coordenadas de puntos georreferenciados. Fuente: Monografía de puntos GPS.

La superficie de terreno fue elaborada en el programa Civl3D por las facilidades que ofrece al momento de trabajar con superficies de terreno y la gran variedad de opciones de personalización.

Figura 10

Superficie en 3D.



Nota: Vista en 3 dimensiones de la superficie del área del terreno del campus universitario.

Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

4.2 Catastro de pozos y cajas de revisión

Para la realización del catastro de pozos y cajas de revisión se utilizó una ficha realizada en el programa Excel, el cual cuenta con los espacios para ingresar la información necesaria del trabajo realizado.

En esta ficha la información técnica para tener en cuenta es la siguiente:

- Nomenclatura de la caja de revisión o pozo.
- Cota de elevación de la tapa.
- Altura de pozo o caja de revisión.
- Diámetro interno (para las cajas de revisión serían, las medidas de los lados internos).
- Medidas de la tapa.
- Tipo de material del cual está construido la estructura y la tapa.

- Número de tuberías que ingresan o salen de la estructura.
- Diámetros nominales de las tuberías que ingresan o salen.
- Descripción del material de tubería.
- Descripción del estado de tuberías, tapas y estructura interna de la caja o pozo de revisión.
- Registro fotográfico.
- Observaciones de cualquier dato u observación adicional.

4.2.1 Equipo usado para la realización de catastro de cajas y pozos de revisión

Tabla 2

Equipo usado para catastro de cámaras de revisión.

Herramienta	Imagen referencial	Descripción
Barreta		Sirve para levantar determinadas tapas que no cuenten con manija.
Pico		Para limpiar cobertura vegetal en caso de que exista.
Cinta métrica		Se usa para la medición de altura de pozos muy profundos donde no sirva el flexómetro.
Flexómetro		Para la medición de altura de cajas pequeñas.
Tablero de madera		Material de apoyo para la toma de datos.

Guantes		Protección para las manos.
Teléfono celular		Dispositivo usado para la toma de fotos y también como material de referencia, al contar con una brújula integrada.

Nota. Descripción de los equipos utilizados para el catastro de pozos. Elaborado por: El autor, imágenes obtenidas de Google Imágenes.

4.2.2 Procedimiento

Para el catastro es necesario primero realizar una inspección visual de la zona, para poder identificar todas las estructuras sanitarias existentes y así evitar que se pase por alto alguna de ellas.

Para una adecuada interpretación de datos se nombró a cada caja teniendo en cuenta en que edificio se encontraba, esto resultará de gran ayuda al momento de interpretar los resultados

Los pasos que se siguieron son los siguientes:

- Identificación de caja o pozo: el cual previamente se anotó el nombre en la ficha técnica.
- Apertura de tapa: las cajas ya tienen una varilla de acero para poder ser levantadas, sin embargo, en determinadas ocasiones, estas están en mal estado y no sirven, por esta razón se utilizó un pico o barreta para realizar esta labor, siempre teniendo cuidado de no dañar las estructuras. De la misma manera se realiza con los pozos.

- **Medición:** con la cinta métrica se procede a medir los diámetros de tuberías y medidas internas de las cajas o pozos.
- **Registro de datos:** se anota la información en la hoja de catastros y también se realiza un croquis que ayude a entender la procedencia y conexión de tuberías.
- **Registro fotográfico:** se toma fotografías de la caja o pozo para tener información visual.

Tras la culminación del catastro y para mejor visualización del respaldo de la información, se procede a digitalizar las fichas. (Ver anexo 3).

4.2.3 Resumen de estado de cajas y pozos de revisión

Se elaboró una tabla con la descripción del estado de las cámaras de inspección, en esta clasificación se busca identificar el estado constructivo de las estructuras, considerando la posible existencia de erosión en el fondo, acumulación de sedimentos o cualquier otra situación que se haya podido visualizar (Ver anexo 4).

4.2.4 Trazado del sistema de alcantarillado

Una vez que se tuvo la información de los catastros se llevó a cabo la interpretación de la red del sistema de alcantarillado, para ello se usó el programa de civil 3d donde previamente se generó una superficie del terreno y se georreferenció la ortofoto, para la ubicación de puntos de terreno en donde se encontraban las cámaras de inspección a fin de obtener una coordenada geográfica. Se realizó un plano donde se encuentra cada tapa de caja y pozo de revisión, georreferenciados. (Ver anexo2)

Figura 11

Punto georreferenciado.



Nota. Información geográfica de una caja de revisión. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

De esta manera se pudo generar una red, conectando los puntos de terreno en base al catastro realizado. La representación de la red en un plano será de ayuda a la hora de modelar con precisión en el programa SewerGEMS, así como para la interpretación de aportes de caudal ya sea sanitario o pluvial.

4.2.5 Problemáticas surgidas durante el catastro

Tras la realización de esta actividad se pudieron evidenciar determinadas problemáticas relacionadas con el estado estructural de los pozos y cajas de revisión.

Entre ellas se tienen las siguientes:

- Mal estado de tapas debido al deterioro, se pudo visualizar corrosión entre el sócalo y el borde de la tapa de una gran parte de cajas de revisión lo cual dificultaba la apertura de estas.
- Mal estado de manijas o ausencia de estas, por lo que se tuvo que emplear el uso de una barreta o pico para poder levantar las tapas, esta problemática ocurrió en la gran mayoría de cajas.
- Corrosión en escaleras, lo cual pone en riesgo que use estas.
- Crecimiento de vegetación en las tapas, lo cual produjo dificultades en el levantamiento, además del deterioro que ocasiona en la estructura.

4.2.6 Observaciones

Es importante mencionar que existieron cajas de revisión con problemáticas especiales, las cuales servirán de mucha ayuda para la interpretación de los resultados del modelado hidráulico. Las cajas que presentaron situaciones más importantes son las siguientes:

Caja “I4”: Presenta la situación de que la tubería de salida se encuentra tapada e inutilizable, lo cual genera que el agua no circule y se produzcan inundaciones. En la ilustración 12, se puede evidenciar una acumulación de sedimentos.

Figura 12

Caja de revisión tapada.



Nota. Caja de revisión nombrada como “I4”, en la fotografía el círculo rojo representa la zona donde se encuentra la tubería tapada. Elaborado por: El autor.

Caja “D4”: Tiene la peculiaridad de contar con dos tuberías de salida, así que, para poder evaluar la red del sistema de alcantarillado, se optó por utilizar la tubería que conecta con la caja “D1” en vista de que era la única tubería que tenía marcas de agua, lo cual indica que es por ahí por donde fluye el líquido, mientras que la otra tubería no presentaba marcas de flujo de líquidos.

Figura 13

Caja "D4"



Nota. Fotografía de la tapa de la caja nombrada como “D4”. Elaborado por: El autor.

Caja “B9”: Se visualiza una notable acumulación de agua, y la tubería de salida cuenta con una altura considerable. La altura medida fue de 1.40m y según entrevistas al personal de mantenimiento del campus universitario se concluye que la caja originalmente tenía salida al sistema de alcantarillado principal de la calle, sin embargo, debido a la obstrucción de una raíz se decidió por modificar la salida de flujo mediante una tubería que conecta con la caja de revisión “A7”.

Figura 14

Caja "B9".



Nota. Fotografía de la caja de revisión nombrada como “B9”, donde se visualiza acumulación de agua. Elaborado por: El autor.

Caja “M17”: Ubicada en la bodega junto al bloque de ingeniería automotriz, tiene la peculiaridad que es una caja que se tuvo mucha dificultad al momento de abrir debido a que se encontraba sellada con pegamento. No aporta caudal a otras cajas, sino que tiene conexión directa con la tubería del sistema de pozos que atraviesan la universidad y se ubican junto a la quebrada.

Figura 15

Caja "M17".



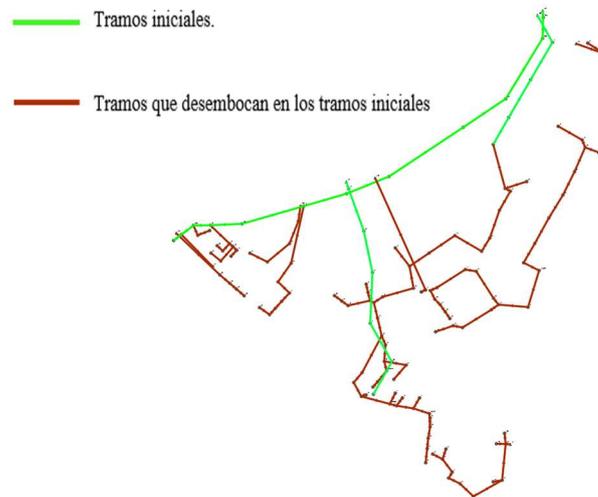
Nota. Fotografía de la caja de revisión nombrada como “M17”, donde se visualiza pegamento en el zócalo. Elaborado por: El autor.

4.3 Clasificación de tramos del sistema de alcantarillado

Una vez trazado el sistema de alcantarillado, se puede determinar que el campus cuenta únicamente con 3 tramos iniciales que recogen el caudal de las diferentes edificaciones (ver anexo 5), ya que los tramos secundarios se encuentran fuera del perímetro y corresponden a una gran red urbana de recolección de aguas sanitarias y pluviales.

Figura 16

Tramos iniciales del sistema de alcantarillado.



Nota. Las líneas representan los tramos de tuberías del sistema de alcantarillado. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la figura 16, se pueden observar los tramos iniciales que tienen un color verde, mientras que los tramos que recogen tanto caudal pluvial sanitario como pluvial y desembocan en estos tramos iniciales, se ven representados de un color marrón. Cabe recalcar además que en estos tramos iniciales fueron los únicos donde se pueden observar tapas redondas de acero de la empresa de alcantarillado de Quito, lo que significa que son tramos con diseños pesados para cumplir con especificaciones técnicas.

Figura 17

Ubicación de pozos con tapas de acero redondas.



Nota. Los puntos de color rojo representan la ubicación de los pozos que cuentan con tapas redondas de acero, de la empresa de alcantarillado de Quito. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Figura 18

Tapa de acero.



Nota. Fotografía de un pozo de revisión cuya tapa es redonda y de acero. Elaborado por: El autor.

También se puede observar un interceptor que pasa por el borde de la quebrada, tramo por el cual conectan algunas tuberías que aportan caudal sanitario. Este colector proviene de áreas colindantes con la Universidad Politécnica Salesiana.

CAPÍTULO V

CRITERIOS DE DISEÑO

5.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son directrices que se deben de seguir para garantizar características y especificaciones que debe de cumplir un determinado proyecto.

La empresa metropolitana de alcantarillado y agua potables de Quito establece las normas de diseño de alcantarillado para la EMAAP-Q, a partir de la cual se tuvo varias consideraciones para el modelado del sistema de alcantarillado. El criterio para la evaluación del sistema, fue mediante los parámetros de diseño de sistemas de alcantarillado combinado, debido a que mediante el catastro de cámaras de inspección se determinó que el sistema de alcantarillado del campus recoge tanto aguas pluviales como sanitarias, salvo algunas excepciones.

La norma establece que los parámetros de diseño hidráulico e hidrológico de los sistemas de alcantarillado deberán ser los mismos que para sistemas separados de alcantarillado sanitario y pluvial, por lo que se evaluarán todos los tramos de la red, bajo los mismos criterios.

Es importante mencionar que se verificó el cumplimiento de estos parámetros establecidos para los tramos primarios que se lograron identificar. En cuanto a la red tuberías y colectores que aportan con caudales los tramos primarios e interceptor, no se verificó el cumplimiento de Normas EMAAP-Q, pero si se evaluó el comportamiento hidráulico bajo los límites y parámetros de la NEC, en su capítulo NHS, para la proposición de mejoras.

5.2 Sistema de alcantarillado sanitario

Para la estimación de caudal de alcantarillado proveniente de aguas servidas se optó por calcular un caudal máximo probable, debido a la variación que existe en el consumo de agua en las diferentes edificaciones del campus. Para hallar el caudal máximo probable se utiliza un coeficiente de simultaneidad de uso. Este método de cálculo probabilístico que considera un caudal pico en función de que los aparatos sanitarios puedan estar funcionando de manera simultánea, también considera que, dependiendo del tipo de aparato sanitario, este puede entregar más o menos caudal.

5.2.1 Caudal máximo probable

Para la estimación del Caudal máximo probable la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el capítulo 16 de la Norma Hidrosanitaria de Agua establece que se calcule con la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Caudal Máximo Probable

$$Q_{Mp} = k_s * \Sigma qi$$

Donde:

Q_{Mp} = Caudal Máximo Probable.

k_s = Coeficiente de simultaneidad, entre 0.2 y 1.0.

qi = Caudal mínimo suministrado.

El coeficiente de simultaneidad, se calcula mediante la ecuación:

Ecuación 2. Coeficiente de simultaneidad.

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{n-1}} + F \times (0.04 + 0.04 \times \log(\log(n)))$$

Donde:

n = número total de aparatos servidos.

F = dependiendo del tipo de edificio, puede tomar los siguientes valores:

$F = 0$, según la Norma Francesa NFP 41204.

$F = 1$, para edificios de oficinas y semejantes.

$F = 2$, para edificios habitacionales.

$F = 3$, hospitales, hoteles y semejantes.

$F = 4$, edificios académicos, cuarteles y semejantes.

$F = 5$, edificios e inmuebles con valores de demanda superiores.

Teniendo en cuenta que el sistema de alcantarillado se encuentra dentro del campus universitario, se consideró que la variable F tendrá un valor de 4 para todas las edificaciones existentes.

5.2.2 *Conteo de aparatos sanitarios*

Un aparato sanitario es aquel que se encarga de receptor el agua o liquido proveniente del uso y que se considera desperdicio, conduciéndolo a un sistema de drenaje. Por lo general se colocan estos aparatos en cuartos a los cuales se les suele llamar como “cuartos húmedos”, aunque dependiendo del uso pueden encontrarse fuera de viviendas, construcciones o edificaciones.

El número total de aparatos de servicio se obtuvo mediante el conteo y se determinó de que tipo era mediante inspección visual. Después del conteo de aparatos sanitarios se logró identificar los tipos de aparatos sanitarios existentes en todo el campus universitario, los cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3

Aparatos sanitarios existentes dentro de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur.

Tipos de aparatos sanitarios existentes dentro de la Universidad Politécnica Salesiana-Sede Quito, Campus Sur.		
Aparato Sanitario	Imagen de referencia	Descripción
Grifo de manguera		Se encuentran por lo general alrededor de los Bloques del campus y son usados para labores de lavado de instrumentos de limpieza.
Lavabos		Mayoritariamente ubicado dentro de baños de los edificios académicos.

Duchas		La mayoría se encuentran en el Bloque A cerca del Gimnasio.
Urinario con fluxor		Único tipo de urinario presente en las instalaciones del campus
Inodoro con depósito		Presente en la mayor parte de los edificios académicos.
Inodoro con fluxor		Mayormente se observan en el Bloque B, aportan mucho mayor caudal que los inodoros de depósito.
Fregaderos de cocina		Aunque muy pocos, se observan en la cocina de la cafetería.
Fuentes para beber		Únicamente existen 2, en los bloques "B" y "G" respectivamente.

Nota. Descripción de los aparatos sanitarios encontrados en el campus universitario. Elaborado por: El autor, imágenes obtenidas de Google Imágenes.

Dependiendo del tipo de aparato sanitario, el aporte de caudal puede ser mayor o menor. Para la estimación del valor del caudal mínimo suministrado, la Norma Hidrosanitaria NHE Agua, establece la siguiente tabla:

Tabla 4*Tipos de aparatos sanitarios y su aporte de caudal mínimo.*

Aparato sanitario	Caudal instantáneo mínimo (L/s)	Presión		Diámetro según INEN (mm)	NTE 1369
		Recomendada (m c.a.)	Mínima (m c.a.)		
Ducha	0.20	10.0	3.0	16	
Fregadero cocina	0.20	5.0	2.0	16	
Fuentes para beber	0.10	3.0	2.0	16	
Grifo para manguera	0.20	7.0	3.0	16	
Inodoro con depósito	0.10	7.0	3.0	16	
Inodoro con fluxor	1.25	15.0	10.0	25	
Lavado	0.10	5.0	2.0	16	
Urinario con fluxor	0.50	15.0	10.0	20	

Nota. Caudal mínimo descargado según diferentes tipos de aparatos sanitarios. Fuente: NEC-11, capítulo 16, Norma Hidrosanitaria NHE Agua.

5.2.3 Cálculo de aporte de caudales de aparatos sanitarios

Teniendo en cuenta todos los parámetros antes mencionados, se realiza el cálculo en el programa Excel por las facilidades al momento de hacer cálculos de una serie extensa de datos, como es en este caso donde se contabilizaron muchos aparatos sanitarios y también se clasificó de acuerdo con la edificación correspondiente.

Para la correcta distribución de caudales sanitarios, se tomó como referencia las hojas de catastros, y planos hidrosanitarios de las diferentes edificaciones, a partir de las cuales se determinó la cantidad de tuberías sanitarias provenientes de cada bloque o sección que aporte caudal sanitario y se distribuyó a cada tubería un porcentaje del caudal total estimado de cada edificación.

Para casos más puntuales donde se logró identificar la proveniencia exacta de tuberías de drenaje sanitario se dividió el número de aparatos sanitarios según la tubería de drenaje y su conexión con determinada caja o pozo de revisión. Los cálculos del caudal máximo probable y el aporte por tubería sanitaria se encuentran en una tabla. (ver anexo 6).

Para ejemplo de los cálculos realizados se tomó la sección correspondiente a Sala de Lactancia y Dispensario Médico las cuales se encuentran unidas en una sola edificación. Se determinó mediante el conteo que tienen un total de 4 lavados y 2 inodoros de depósito, por lo que se procedió a calcular el caudal mínimo (qi) el cuál corresponde a la siguiente ecuación:

Ecuación 3 Caudal mínimo total para un solo tipo de aparatos sanitarios.

$$qi_t = qi \times n$$

Donde:

qi_t = Caudal mínimo total por aparato sanitario (L/seg).

qi = Caudal mínimo (L/seg).

n = Número total de aparatos sanitarios.

Teniendo en cuenta que el valor del caudal mínimo (qi) para lavados es de 0.1 L/seg y 0.1 L/seg para inodoros de depósito, se tuvo como resultado lo siguiente:

Para lavados:

$$qi_t = 0.1 \times 4$$

$$qi_t = 0.4 \frac{L}{seg}$$

Para inodoros:

$$qi_t = 0.1 \times 2$$

$$qi_t = 0.2 \frac{L}{seg}$$

Luego se sumaron ambos valores para obtener el caudal mínimo de todos los aparatos sanitarios

$$\sum qi = 0.2 + 0.4$$

$$\sum qi = 0.6 \frac{L}{seg}$$

Con la sumatoria total de caudales mínimos se hizo uso de la ecuación de coeficiente de simultaneidad (ecuación 2), teniendo en cuenta que el número total de aparatos sanitarios (lavados e inodoros) es de 6 unidades.

$$k_s = \frac{1}{\sqrt{6-1}} + 4 \times (0.04 + 0.04 \times \log(\log(6)))$$

$$k_s = 0.5897$$

Posteriormente se calculó el caudal máximo probable (Ecuación 1)

$$Q_{MP} = 0.5897 \times 0.6 \frac{L}{seg}$$

$$Q_{MP} = 0.35387 \frac{L}{seg}$$

Mediante el trazado del sistema de alcantarillado y con información de los catastros realizados se determinó que este caudal se desfoga únicamente por una tubería hacia la caja de revisión nombrada como “H-TSL”

A continuación, se presenta un resumen de los caudales sanitarios y la cámara de revisión en la cual desfoga el flujo.

Tabla 5*Aportes de caudal sanitario.*

Número de pozo/caja	Coordenadas		Cota de tapa (m s.n.m.)	Altura (m)	Nomenclatura	Número de tuberías	Aporte de caudal sanitario (L/s)
	Norte (m)	Este (m)					
2	9968622.520	772684.648	2891.921	0.650	H6i	1	0.67972
5	9968596.881	772695.007	2891.843	1.070	H3	1	0.67972
6	9968587.395	772704.889	2891.840	1.270	H2	3	2.03917
8	9968599.441	772726.078	2890.536	0.500	H0	1	0.67972
10	9968634.186	772727.870	2889.287	0.460	H-TSL	1	0.35387
18	9968660.454	772665.226	2891.854	0.550	I7	1	0.74047
19	9968660.402	772652.539	2891.757	0.300	F1	1	0.74047
21	9968674.263	772646.318	2891.750	0.610	F3	1	0.74047
22	9968684.832	772655.427	2891.750	0.850	F4	1	0.74047
25	9968661.589	772622.310	2889.450	0.880	E2	1	0.09385
26	9968662.661	772625.793	2889.460	0.495	E3	4	0.37539
27	9968668.520	772630.903	2889.423	0.600	E4	2	0.18770
29	9968671.891	772616.722	2889.061	1.060	E6	1	0.09385
30	9968679.248	772622.947	2889.025	1.340	E7	4	0.37539
34	9968706.493	772637.344	2888.426	1.090	C2	1	0.43891
35	9968719.762	772634.288	2888.411	1.380	C3	4	1.75566
42	9968736.314	772602.615	2888.410	0.630	D5	2	1.01356
43	9968732.293	772607.976	2888.488	0.780	D6	2	1.01356
48	9968732.113	772563.661	2886.000	0.730	M4	1	1.40190
50	9968746.525	772561.001	2886.000	1.085	M6	1	1.40190
54	9968765.593	772526.388	2885.985	0.335	M10	1	1.40190
61	9968757.943	772512.710	2886.000	0.570	M17	1	0.88468
62	9968773.311	772516.177	2885.982	0.460	M18	1	0.32627
64	9968772.445	772527.941	2885.950	0.590	M20	1	0.20000
66	9968784.562	772510.556	2885.878	0.420	M22	1	0.57098
94	9968729.690	772680.357	2886.628	0.670	B1	1	0.32552
95	9968724.435	772684.068	2886.603	0.610	B2	2	0.65103
96	9968719.376	772687.550	2886.592	0.555	B3	1	0.32552
101	9968734.368	772719.739	2886.570	1.145	B8	1	0.32552
106	9968799.666	772724.149	2882.587	0.920	A2	2	4.18789

107	9968813.775	772732.162	2882.165	1.150	A3	1	2.09395
118	9968861.900	772767.423	2880.566	0.670	G3	1	0.35387
119	9968848.425	772719.539	2877.922	2.170	G4	1	1.88877
120	9968868.455	772730.897	2877.851	2.650	G5	2	14.89052
123	9968923.563	772789.193	2875.978	0.575	Z1	1	0.20000
125	9968742.238	772678.039	2886.670	0.970	U1	1	0.32552
126	9968618.814	772674.903	2891.925	0.340	Hi	2	0.95809

Nota. Aporte de caudales sanitarios para diferentes pozos o cajas de revisión. Elaborado por:
El autor.

5.2.4 Observaciones

Para el Bloque “G” se consideró que tiene un aporte de caudal al pozo “G5” y a la caja “G3”, siendo esta la que menor aporte recibe ya que se logró determinar que recibía el caudal de una sección a parte del bajante principal de los baños, por este motivo se dividió los datos de conteo en la hoja de cálculo en una sección aparte nombrada como Bloque G Sección para los cálculos de caudal máximo probable (ver anexo 6).

La bodega que se encuentra junto al Bloque “J” se dividió en tres secciones para asignar un caudal máximo probable, debido a que se determinó de manera exacta el número de aparatos sanitarios que aportan a cada caja de revisión. Las secciones nombradas como “Bodega Junto a mecánica Automotriz (Dentro)”, “Bodega Junto a mecánica Automotriz 2da Sección” y “Bodega Junto a mecánica Automotriz Fuera”, aportan caudal sanitario a las cajas “M17”, “M18” y “M20” respectivamente.

Figura 19

Vista en planta de la bodega.



Nota. Imagen de la vista aérea de la bodega ubicada junto al bloque J. Elaborado por: El autor a través de la ortofoto proporcionada por Gestión Documental UPS.

5.3 Sistema de alcantarillado pluvial

Al ser un conjunto de obras destinadas al uso para actividades cotidianas en la vida de una persona normal, en este caso para las actividades académicas de una universidad se puede clasificar el sistema de alcantarillado como una red de micro drenaje.

5.3.1 Método racional

El método racional es muy utilizado en la actualidad para la estimación de caudales provenientes de precipitaciones, con el fin de diseñar sistemas de alcantarillado.

Este método parte de la idea de que la lluvia empieza de manera instantánea con una intensidad que se denomina “i”, y continua hasta llegar a un determinado tiempo de concentración en el cual toda el área de la cuenca aporta al flujo de salida, el producto de la

intensidad de la lluvia (i) y el área de la cuenca se considera como el flujo de entrada y la relación entre este caudal y el caudal de salida que ocurren durante el tiempo de concentración previamente mencionado, se conoce como “coeficiente de escorrentía” (Chow y Mays, 2000), este coeficiente ronda entre valores de 0 a 1.

Las normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMMAP-Q, establece el método racional como válido para la estimación de caudales pluviales, mientras que la norma NEC hace énfasis en el cálculo de caudales sanitarios.

Debido a su simplicidad, se eligió este método para la estimación de caudales pluviales que aportan a la red de colectores.

La ecuación del método racional es la siguiente:

Ecuación 4. Método racional

$$Q = \frac{C \times i \times A}{360}$$

Donde:

Q = Corresponde al caudal pico durante el evento de precipitación (m^3).

C = Coeficiente de escorrentía (valor adimensional).

A = Área de aporte (ha).

i = Intensidad de precipitación (mm/h).

5.3.2 Áreas de aportación

Para la determinación de las áreas de drenaje se realizó la estimación en el programa civil 3D. Mediante la ortofoto se trazaron las áreas que aportan con caudal pluvial a los colectores, también se identificó y clasificó el tipo de terreno existente en base a observación.

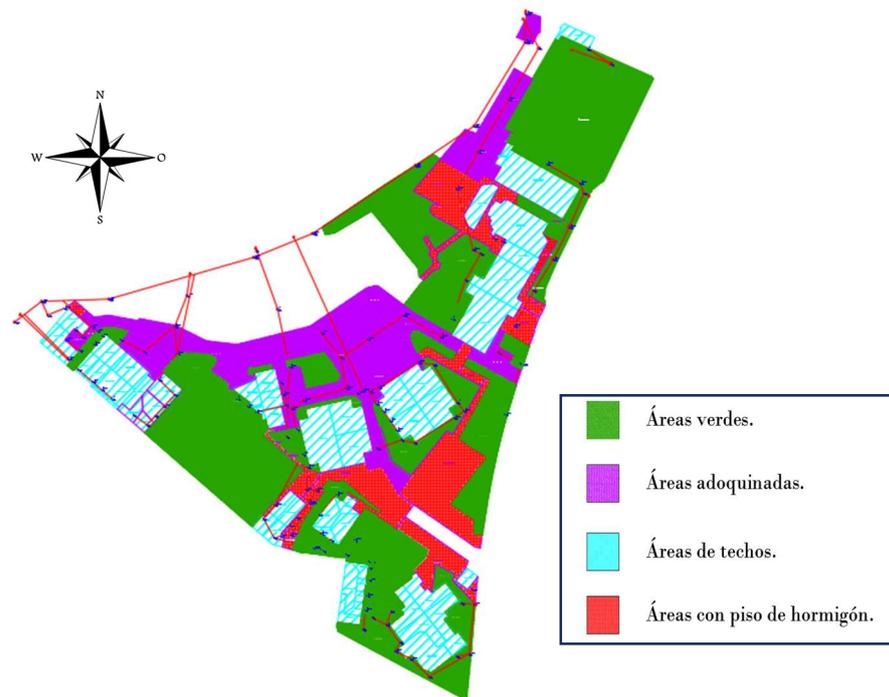
Como resultado de este trazado de áreas ayuda a tener un mayor acercamiento al comportamiento real del sistema de alcantarillado, frente a un evento de precipitación con un caudal pico probable.

Se dibujó un plano donde se identifican todas las áreas detallando el tipo de superficie de terreno que corresponde y el valor medido en m^2 (ver anexo 7) de cada una de estas para una adecuada interpretación de resultados teniendo en cuenta que el área del campus es relativamente pequeña para ser medida en hectáreas.

De manera visual se puede determinar que el campus cuenta en su mayoría por áreas verdes, lo cual influye en la elección del coeficiente de escorrentía para la estimación de caudales pluviales.

Figura 20

Áreas de aportación.



Nota. Las figuras representan distintas secciones con diferentes tipos de suelo. Elaborado por: El autor a través del programa civil 3D, 2024.

En la figura 20, se pueden observar diferentes áreas de escorrentía que corresponden a diferentes superficies del terreno identificadas, a las cuales se les asignó un color de la siguiente manera:

Color verde: corresponde a la superficie cubierta por pasto.

Color violeta: corresponde a las áreas donde se encuentra adoquín.

Color celeste: indica todos los techos del conjunto de edificaciones del campus.

Color rojo: para superficies de concreto.

5.3.3 Coeficientes de escorrentía

El coeficiente de escorrentía varía dependiendo del tipo de suelo, la topografía del terreno y de si tenga o no cobertura vegetal, lo más recomendable es dividir el área total a ser evaluada en secciones dependiendo de las características del terreno y asignar un coeficiente a cada tramo de área.

A medida que la lluvia continúa, la infiltración se ve reducida, a esto se le puede sumar la condición de que el suelo puede encontrarse previamente húmedo. Factores como el nivel freático, grado de compactación del suelo, porosidad, pendiente vegetación y almacenamiento por depresión, afectan el coeficiente de escorrentía (Chow y Mays, 2000).

Al contar el campus con muchas áreas verdes y tener una topografía especial llena de pendientes se optó por usar coeficientes de escurrimiento típicamente usados en áreas urbanas. A continuación, se muestra la tabla establecida por la EMAAP, usada para la determinación del coeficiente de escorrentía según las características de la superficie, adicionalmente se introdujeron valores de escorrentía para un periodo de retorno de 25 años del libro “Hidrología aplicada” de los autores Ven te Chow, David Maidment y Larry Mays.

Tabla 6

Valores usados para la determinación del coeficiente de escorrentía.

Valores usados para determinar un coeficiente de escorrentía según las características de la superficie			
Descripción del área	Periodo de retorno (años)		
	5	10	25
Asfáltico	0.77	0.81	0.86
Concreto / techo	0.80	0.83	0.88
Zonas verdes (jardines, parques, etc.) cubierta de pasto mayor al 75% del área.			
Plano 0-2%	0.23	0.25	0.29

Promedio 2-7%	0.32	0.35	0.39
Pendiente superior al 7%	0.37	0.40	0.44

Nota. Valores de coeficientes de escorrentía para diferentes características de superficies.

Fuente: (Chow y Mays, 2000).

Los valores de coeficiente de escurrimiento observados en la tabla 6, se usaron para las áreas de aporte exceptuando las que corresponde a la cancha ubicada a lado del Bloque “E”, debido a que, por sus condiciones constructivas y topográficas su coeficiente de escorrentía no se ven representadas en la tabla antes mencionada, para este caso muy puntual se optó por usar la tabla de coeficientes de escorrentía rural planteada por la EMAAP, ya que es donde encontramos un valor más cercano a la realidad.

Tabla 7

Coefficientes de escorrentía para zonas rurales.

Coefficientes de escorrentía rural.				
Vegetación y topografía		Textura del suelo		
		Limo arenoso abierto	Arcilla y limo	Arcilla abierta
Bosque	Plano pend 0-5%	0.10	0.30	0.40
	Ondulada pend 5-10%	0.25	0.35	0.50
	Montañosa pend 10-30%	0.30	0.50	0.60
Pastura	Plano	0.10	0.30	0.40
	Ondulada	0.16	0.36	0.55
	Montañosa	0.22	0.42	0.60
Cultivos	Plano	0.30	0.50	0.60
	Ondulada	0.40	0.60	0.70
	Montañosa	0.52	0.72	0.82

Nota. Coeficientes de escorrentía para suelos de zonas rurales. Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q.

Para el coeficiente de adoquines se optó por usar un coeficiente de 0.7, extraído de una tabla de coeficientes de escurrimiento planteados por Francisco Aparicio en su libro “Fundamentos de Hidrología de Superficie”, donde el menciona que los coeficientes que plantea adoptan valores conservadores. Teniendo en cuenta lo antes indicado, se plantea un a tabla con la asignación de coeficientes de escorrentía característicos, dependiendo de cada zona en específica (ver anexo 9).

5.3.4 Intensidad de precipitación

La intensidad hace referencia a la cantidad de agua proveniente de la lluvia que cae en un punto por una unidad de tiempo.

La intensidad es inversamente proporcional al tiempo que dura el evento de precipitación.

La ecuación para medir la intensidad es la siguiente:

Ecuación 5. Intensidad

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

Donde:

i = Intensidad, medida en milímetros por hora (mm/h).

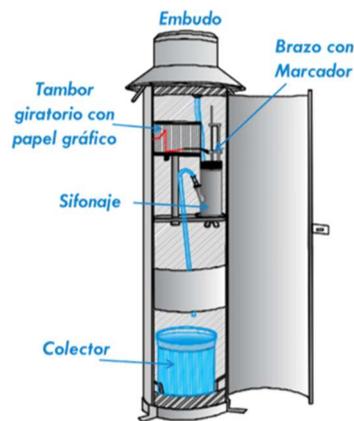
P = Precipitación (mm).

t = Duración (h).

Para medir la intensidad se suele utilizar pluviógrafos, donde los incrementos en secuencia de lluvias como total acumulado en un gráfico, donde la velocidad depende de la frecuencia con la que puede ser cambiado, en general se cambia diariamente, pero para zonas remotas o poco accesibles el tiempo puede prolongarse a semanal o incluso mensualmente (Hudson, 1982).

Figura 21

Pluviógrafo.



Nota. Imagen de referencia de un pluviógrafo. Fuente: INTESCO.

La EMAAP recomienda utilizar los datos de la estación “IZOBAMBA” proporcionados por el INAMHI para sectores que se ubiquen al sur de Quito. Para este caso y teniendo en cuenta que el campus de la universidad se encuentra ubicado en el sur de Quito, se hace conveniente usar los datos de esta estación, porque es la que más cerca se encuentra.

Para el modelado en el programa SewerGEMS se utilizarán los datos de intensidad, duración y frecuencia de la estación M0003 (IZOBAMBA).

Tabla 8

Tabla de intensidad, duración y frecuencia de la estación IZOBAMBA.

t (min)	Periodo de Retorno T (años)					
	2	5	10	25	50	100
5	91.8	106.7	119.7	139.2	156.1	175.0
10	68.0	79.1	88.7	103.1	115.6	129.7
15	57.1	66.4	74.4	86.6	97.0	108.8
20	50.4	58.6	65.7	76.4	85.7	96.1
30	41.4	47.8	53.3	61.6	68.7	76.6
60	25.9	29.9	33.3	38.5	43.0	47.9
120	15.6	18.1	20.2	23.4	26.2	29.3
360	5.9	6.9	7.7	8.9	10.0	11.2
1440	1.8	2.0	2.3	2.6	3.0	3.3

Nota. Valores de intensidad, duración y frecuencia para la estación IZOBAMBA. Fuente: Estudio de lluvias intensas del INAMHI.

5.3.5 Periodo de retorno

Es periodo de retorno hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación máximo anual y es considerado como un proceso aleatorio difícil de predecir. Se puede definir como el tiempo medido que se espera que transcurra entre dos eventos que superen determinada magnitud, la cual será el umbral (Mediero, 2021).

La ecuación correspondiente es la siguiente:

Ecuación 6. Periodo de retorno:

$$TR = \frac{1}{1 - P}$$

Donde:

P = Probabilidad de que el valor no sea igualado o excedido.

La probabilidad de ocurrencia puede ser calculado de manera empírica, haciendo uso de los datos observados y utilizando las relaciones entre las probabilidades de ocurrencia, como las de no ocurrencia de un evento superior al umbral.

Ecuación 7. Probabilidad de ocurrencia.

$$P_e = \frac{n_e}{n}$$

Ecuación 8. Probabilidad de no ocurrencia.

$$P_{ne} = \frac{n_{ne}}{n}$$

Ecuación 9. Relación entre la probabilidad de excedencia y no excedencia.

$$P_e + P_{ne} = 1$$

Donde:

n = Longitud de la serie o número de valores que la componen.

n_e = El número de valores que superan el umbral.

n_{ne} = El número de valores que no superan el umbral.

La EMAAP plantea una tabla con los periodos de retorno recomendados para el diseño de obras de micro y macro drenaje.

Tabla 9

Periodos de retorno para diferentes ocupaciones de área.

Períodos de retorno para diferentes ocupaciones del área		
Tipos de obra	Tipo de ocupación del área de influencia de la obra	Tr (años)
Micro drenaje	Residencial	5
Micro drenaje	Comercial	5
Micro drenaje	Área con edificios de servicio público	5
Micro drenaje	Aeropuertos	10
Micro drenaje	Áreas comerciales y vías de tránsito intenso	10 – 25
Micro drenaje	Áreas comerciales y residenciales	25
Micro drenaje	Áreas de importancia específica	50-100

Nota. Periodos de retorno según el tipo de ocupación de área. Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q.

Para este proyecto se utilizó un periodo de retorno de 5 años, debido a que es el más cercano a las condiciones del campus universitario, pero también se evaluará el rediseño para periodos de retorno de 10 y 25 años, el programa SewerGEMS tiene la facilidad de dar resultados inmediatos al realizar este tipo de cambios.

5.3.6 Tiempo de concentración

Se puede definir como el tiempo que tarda al agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta la sección de desagüe.

Se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 10. Tiempo de concentración.

$$tc = ti + tf$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración.

ti = Tiempo en el que ingresa al sistema de alcantarillado.

tf = Tiempo de flujo a lo largo de los conductos del sistema de alcantarillado.

Para la modelación del proyecto se considerará un tiempo de concentración (T_c) de 10 minutos.

5.4 Velocidad máxima

Es necesario considerar una determinada velocidad, pero sin que esto pueda provocar erosión en las tuberías. La EMAAP establece una velocidad máxima en función del tipo de tubería que se use.

Tabla 10

Velocidades máximas en función del material de tubería.

Material de la Tubería	Velocidad máxima (m/seg)
Tubería de Hormigón simpe hasta 60cm. de diámetro	4.5
Tubería de Hormigón simpe armado de 60cm. de diámetro o mayores.	6.0
Hormigón armado en obra para grandes conducciones 210/240 kg/cm ²	6.0 – 6.5
Hormigón armado en obra 280/350 kg/cm ² . Grandes conducciones.	7.0 – 7.5
PEAD, PVC, PRFV	7.5
Acero	9.0 o mayor
Hierro dúctil o fundido	9.0 o mayor

Nota. Velocidades máximas permitidas para tuberías en función del material del cual están elaborados. Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q.

Para el rediseño de secciones que presenten problemas y teniendo en cuenta que las tuberías son de material PVC la velocidad máxima permitida será de 7.5 m/seg, pero bajo un criterio conservador se evitará sobrepasar los 6 m/seg.

5.5 Velocidad mínima

Para evitar la acumulación de sedimentos que puedan generar obstrucción en el funcionamiento normal de un sistema de alcantarillado, los flujos deberán de tener una velocidad mínima de 0.60 m/seg.

5.6 Pendiente máxima

La pendiente máxima estará relacionada con las velocidades razón por la cual se podrá abordar cualquier valor de pendiente siempre y cuando no se supere la velocidad máxima permitida para el material del cual esté construida la tubería.

5.7 Pendiente mínima

Con el fin de evitar tener velocidades menores a 0.60 m/seg se deberán abordar pendientes mínimas. Para tuberías de 40cm de diámetro las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado para la EMAAP-Q establece que no se podrán usar pendientes menores al 0.5%.

5.8 Porcentaje de llenado de tuberías

El porcentaje de llenado en una tubería corresponde a una relación entre el caudal de diseño con el caudal si se considerara la sección totalmente llena (Q/Q_0). La Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable establecen que esta relación no puede ser superior al 0.9. Para la proposición de mejoras y rediseños que se tengan que realizar se verificará que los tramos iniciales cumplan con valor de 0.8, esto con el propósito de manejar un valor conservad

5.9 Caudales adicionales

Además de los caudales sanitarios y pluviales, es necesario considerar dos caudales que se unen a al sistema de alcantarillado, los cuales pueden influir en la simulación del

comportamiento de la red. Para la determinación de estos caudales se recurrió a documentación de estudios ya realizados en donde se calcula su valor por diferentes métodos.

5.9.1 Caudal proveniente de un acuífero subterráneo del bloque G

El edificio se encuentra encima de un acuífero subterráneo, cuyo caudal se extrae mediante un sistema de bombeo para su posterior almacenamiento en cisternas. Con la ayuda de bombas el agua acumulada se descarga en el sistema de alcantarillado.

Para la estimación del caudal la autora Jenifer Pilco en sus tesis “ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS CAUDALES SUBTERRÁNEOS DE LOS PREDIOS DEL “BLOQUE G”, DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, estimó que el aporte de caudal es de 1.161 L/s, para ello realizó un estudio de tiempos de llenado y vaciado del tanque cisterna.

La estimación de caudales mediante el estudio de tiempos de llenados es un método volumétrico que consiste en la medición del tiempo en el que tarda en llenarse un envase el cual ya se haiga identificado su volumen. Debido a la condición en la que se encuentra el acuífero subterráneo, resulta ideal el uso de este método para la estimación del caudal aportante.

5.9.2 Caudal que aporta al interceptor junto a la quebrada

En la memoria técnica del “ESTUDIO DEL CAUDAL QUE EVACUAN EN LA QUEBRADA COLINDANTE A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA –

CAMPUS SUR”, la autora Deisy Chicaiza calcula el aporte de caudal al interceptor, proveniente de áreas aledañas a la Universidad Politécnica Salesiana.

5.9.2.1 Aporte de caudal sanitario. Para estimar el cálculo del caudal sanitario, la autora parte estimando la población futura mediante el Método de la progresión numérica:

Ecuación 11. Población futura.

$$P = P_o(1 + r)^n$$

Dónde:

P = Población Futura.

P_o = Población actual.

r = Tasa de crecimiento media anual.

n = número de años considerados.

Con una población inicial de 945 habitantes, la estimación de la población futura da como resultado 1375 habitantes.

A continuación, calcula el caudal mensual con la siguiente ecuación:

Ecuación 12. Caudal mensual.

$$Q_m = C_m \times N^{\circ} \text{habitantes}$$

Donde:

C_m = Consumo medio mensual, en este estudio se estimó en $6\text{m}^3/\text{habitante}/\text{mes}$.

$N^{\circ}\text{habitantes}$ = Población futura.

Como resultado se obtiene un caudal $0.00318\text{ m}^3/\text{s}$.

Finalmente, el caudal sanitario se obtiene de la siguiente manera:

Ecuación 13. Caudal Sanitario.

$$Q_s = C_f \times Q \times M$$

Donde:

C_f = Coeficiente de reducción (0.8).

Q = Caudal mensual.

M = Coeficiente de mayoración, en este caso es igual a 4.

Como resultado final, el caudal sanitario obtenido es de $0.01018\text{ m}^3/\text{s}$.

5.9.2.2 Aporte de caudal pluvial. Para la estimación de este caudal, se usó el método racional de la misma forma que se aplicó para el modelado de este sistema de alcantarillado, sin embargo, se usó algunas variantes como son el tiempo de retorno y tiempo de concentración, de modo que el aporte de caudal pluvial obtenido resultó ser de $4.977\text{ m}^3/\text{s}$.

CAPÍTULO VI

MODELACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

La modelación hidráulica del sistema de alcantarillado sirve para poder analizar el comportamiento del agua a través de la red de colectores, de esta manera se puede identificar posibles falencias en el diseño o errores de construcción.

Mediante la modelación hidráulica se pueden plantear diferentes tipos de escenarios con modificaciones y analizar su comportamiento, para en base a eso proponer un rediseño adecuado.

6.1 SewerGEMS

SewerGEMS permite la simulación de sistemas de alcantarillado, la modelación de redes de alcantarillado sanitario, pluvial o combinado. Posee herramientas que favorecen la edición de parámetros físicos, sin embargo, también se debe tener cuidado de no ingresar datos erróneos ya que devolverá resultados que no se ajustan a los requerimientos que se necesiten.

El programa es multiplataforma, lo que significa que se puede trabajar con datos en conjunto de programas como GIS, CAD O Stand-Alone. Además, analiza los diferentes componentes de un sistema de alcantarillado ya sea sanitario o combinado en un solo paquete con opción de realizar un análisis bajo el algoritmo SWMM o con su propia solución implícita, con el uso de ecuaciones de Saint Venant.

6.2 Ecuaciones de Saint-Venant

SewerGEMS de entre todos sus métodos de cálculo, también usa las ecuaciones de Saint-Venant para el modelado del comportamiento del líquido en un espacio y tiempo. Estas ecuaciones provienen del ingeniero Francés Adhemar Jean Claude de Saint-Venant, las cuales tienen algunas formas simples para cada definición de tránsito distribuido unidimensional.

Las ecuaciones de Saint Venant consisten en la ecuación de continuidad (Ecuación 13) y la ecuación de momento. (Ecuación 14).

Ecuación 14. Ecuación de la continuidad

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + VB \frac{\partial y}{\partial x} + B \frac{\partial y}{\partial t} = q$$

Ecuación 15. Ecuación de momento

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial t} - \frac{V}{g} * \frac{\partial V}{\partial x} - \left(\frac{1}{g}\right) * \frac{\partial V}{\partial t}$$

Donde:

A = Área de flujo de sección transversal.

V = Velocidad promedio de las aguas.

x = Distancia a lo largo del canal.

B = Ancho de la superficie del agua.

t = Tiempo

q = Flujo lateral por unidad de longitud de canal

S_f = Pendiente de fricción.

S_o = Pendiente del lecho del canal.

g = Aceleración gravitacional.

Teniendo en cuenta las condiciones de contorno adecuadas las ecuaciones de continuidad y momento, son ecuaciones de onda dinámica completa.

6.3 Consideraciones para el modelado hidráulico

El programa SewerGEMS permite realizar varios tipos de análisis, por este motivo se deben tomar en cuenta ciertos parámetros a ajustar antes de evaluar la red existente.

6.3.1 Solucionador numérico

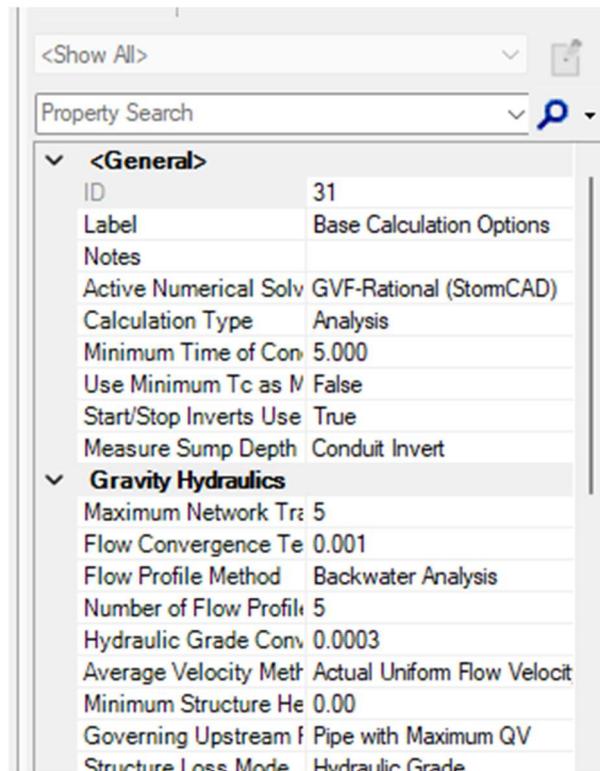
El programa SewerGEMS para el alcantarillado sanitario y pluvial tiene diferentes solucionadores hidráulicos numéricos para cada escenario, debido a que en un sistema de alcantarillado pueden presentarse diversos escenarios de gravedad y presión.

Para la modelación de este proyecto se utilizó el solucionador numérico GVF-Rational (StormCAD) debido a que se determinaron áreas de aportación para la estimación de caudales pluviales y los aportes de drenaje sanitario se estimaron mediante una probabilidad de uso de aparatos sanitarios.

En la figura 22 se muestra como el programa permite elegir el tipo de solucionador numérico para evaluar el comportamiento del sistema de alcantarillado.

Figura 22

Solucionador numérico del programa.



Nota. Imágen de la sección donde se elige el tipo de solucionador numérico. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

También es importante mencionar que en la pestaña donde dice "Calculation Type" se debe elegir la opción "Análisis" debido a que se está analizando la red de alcantarillado, mas no diseñando.

6.3.2 Catálogo de tuberías

El programa permite ingresar un catálogo de tuberías con el tipo de material, diámetro y rugosidad que tenga la tubería. Para el ingreso de estos parámetros se evaluó el catastro de colectores y se determinó que la gran mayoría de tuberías correspondían al material PVC y más concretamente al fabricante “PLASTIGAMA”, por tal razón se utilizó un catálogo para determinar el diámetro interno de las tuberías de manera precisa y que se ajuste a la realidad.

Tabla 11

Catálogo de tuberías de desagüe

CÓDIGO	Diámetro	Espesor Nominal	Diámetro interno Nominal	Longitud de campana EC	Longitud útil EC
Unido por cementado solvente	mm	mm	mm	mm	mm
926224	50	1.8	46.4	35	3.00
926225	75	2.0	71.0	60	
926217	110	2.2	105.6	80	
926218	160	3.2	153.6	120	
926219	200	3.9	192.2	150	6.00
926220	250	5.0	240.0	190	
926221	315	6.2	302.6	240	
926222	355	7.0	341.0	270	
926223	400	7.9	384.2	300	

Nota. Diámetros nominales para diferentes tamaños de tuberías. Fuente: Plastigama.

En el catastro de colectores se determinó que el sistema estaba conformado en su mayoría por tuberías PVC y unas pocas de tipo hormigón de las cuales se midió su diámetro interno y se asignaron los valores en el catálogo que permite ingresar el programa.

6.3.3 Coeficientes de rugosidad

De la misma manera que los diámetros internos, se ingresan los valores de coeficiente de rugosidad respectivos. La Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito, sugiere los siguientes valores de coeficiente de rugosidad:

Tabla 12

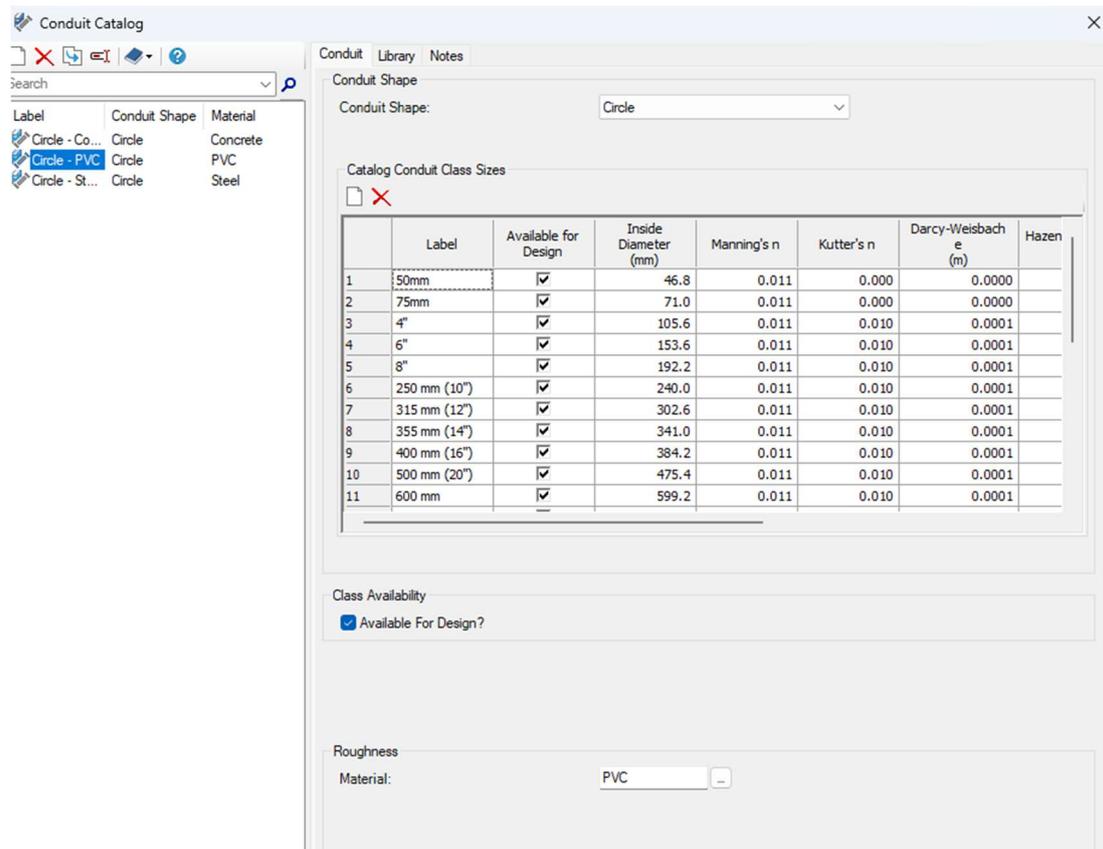
Coeficientes de rugosidad.

Material de Revestimiento	Coefficiente “n”
Tuberías de PVC/PEAD/PRFV	0.011
Tuberías de hormigón (con buen acabado)	0.013
Tuberías de hormigón con acabado regular	0.014
Mampostería de piedra juntas con mortero de cemento.	0.020
Mampostería de piedra partida acomodada (sin juntas).	0.032
Ladrillo juntas con mortero de cemento.	0.015
Tierra (trazo recto y uniforme ⁹ sin vegetación.	0.025

Nota. Coeficientes de rugosidad en función del tipo de material. Fuente: Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q.

Figura 23

Librerías de SewerGEMS.



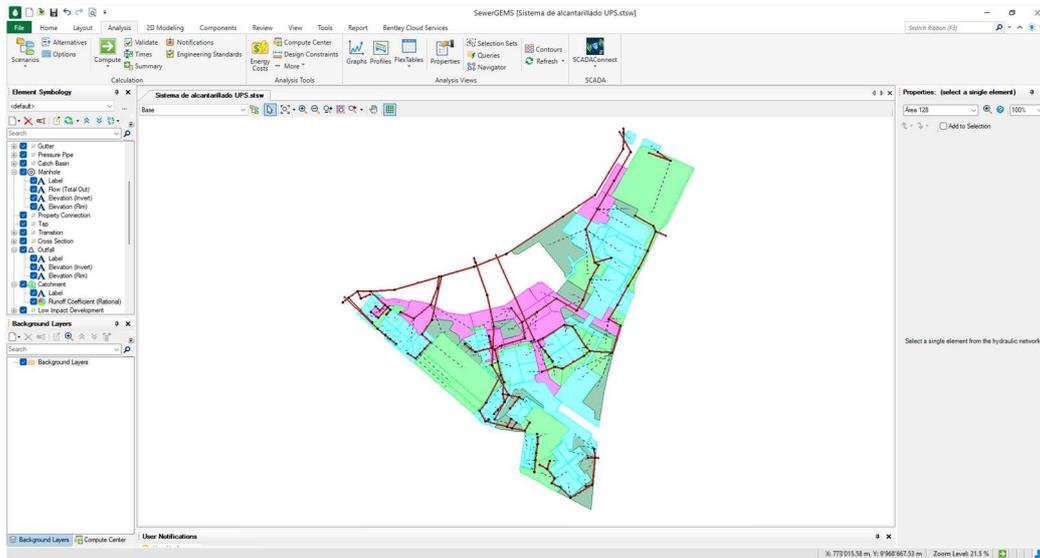
Nota. Sección del programa donde se pueden ingresar datos de tuberías. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

6.4 Modelación en el programa SewerGEMS

Para la modelación del sistema de alcantarillado, gracias a las ventajas que brinda el programa al trabajar en conjunto con programas CAD, se puede importar la red ya trazada en el programa civil 3D, de la misma manera se puede hacer con las áreas de aportación, siempre y cuando estas se encuentren bien dibujadas y sin errores de conexión.

Figura 24

Proyecto importado al programa SewerGEMS.



Nota. Las líneas de color marrón presentan las tuberías de conducción, mientras que las figuras de diferentes colores representan las áreas de aportación que se dibujaron en un plano (Ver anexo 7). Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Teniendo en cuenta que se requiere evaluar el funcionamiento del sistema de alcantarillado, se han planteado diversos escenarios en función de situaciones determinadas encontradas al momento de realizar el catastro y analizar el trasado del sistema de alcantarillado. El programa SewerGEMS permite la edición de datos y simplifica la obtención de resultados, por tal motivo resulta ideal para evaluar un proyecto bajo varias condiciones impuestas.

6.4.1 Primer escenario

Para la modelación del primer escenario se consideró evaluar el funcionamiento del sistema de alcantarillado tomando en cuenta todas las situaciones especiales encontradas durante el catastro de pozos. Bajo este criterio se tomará en cuenta la situación de la tubería del

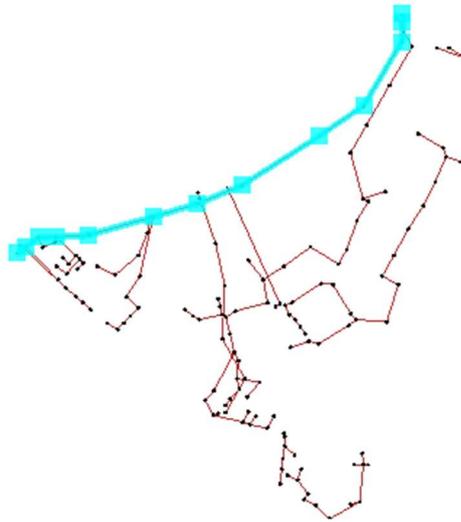
flujo de salida de la caja “I4”, la cual se encuentra tapada por exceso de sedimentación. El programa no permite modelar tuberías tapadas, por este motivo se optó por borrar el conducto tapado del sistema y asignar un desagüe para calcular la cantidad de caudal que aporta el tramo.

6.4.1.1 Análisis de resultados. Se realizó un análisis de los tramos iniciales y tramos que presenten defectos de funcionamiento a través de la visualización de perfiles e información que calcula el programa. Tras la modelación y simulación del funcionamiento del sistema de Alcantarillado se pudo obtener perfiles donde se observa el comportamiento del flujo a través de las tuberías. (Ver anexo 10).

Para el tramo que comprende el interceptor que se ubica junto a la quebrada, se puede evidenciar un mal funcionamiento hidráulico. Se observa un desborde de caudal, debido a la gran cantidad de flujo que ingresa al colector denominado “Pozo 0”. Al tener este tramo un diámetro de tuberías pequeño, no es suficiente para la conducción de caudales en eventos de precipitación máxima.

Figura 25

Tramo colector junto a la quebrada.

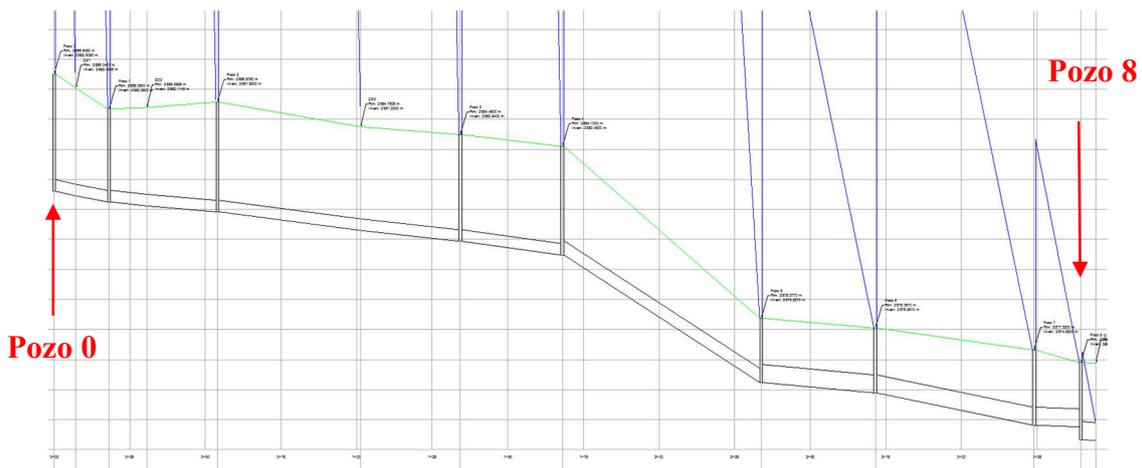


Nota. Las líneas de color celeste representan el tramo colector que ubica junto a la quebrada.

Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Figura 26

Perfil de tramo junto a la quebrada.



Nota. Resultados de la simulación para del tramo colector que se ubica junto a la quebrada.

Elaborado por: EL autor a través del programa SewerGEMS.

En la figura 27 se puede evidenciar el desborde del flujo. Al momento de realizar el catastro de los pozos que comprenden este tramo se pudo visualizar un aporte considerable de caudal, incluso sin la presencia de lluvia. También se pudo identificar una obra de separación de caudales usada para desviar el flujo a la quebrada en casos donde se presenten fuertes lluvias.

Figura 27

Obra de desvío.

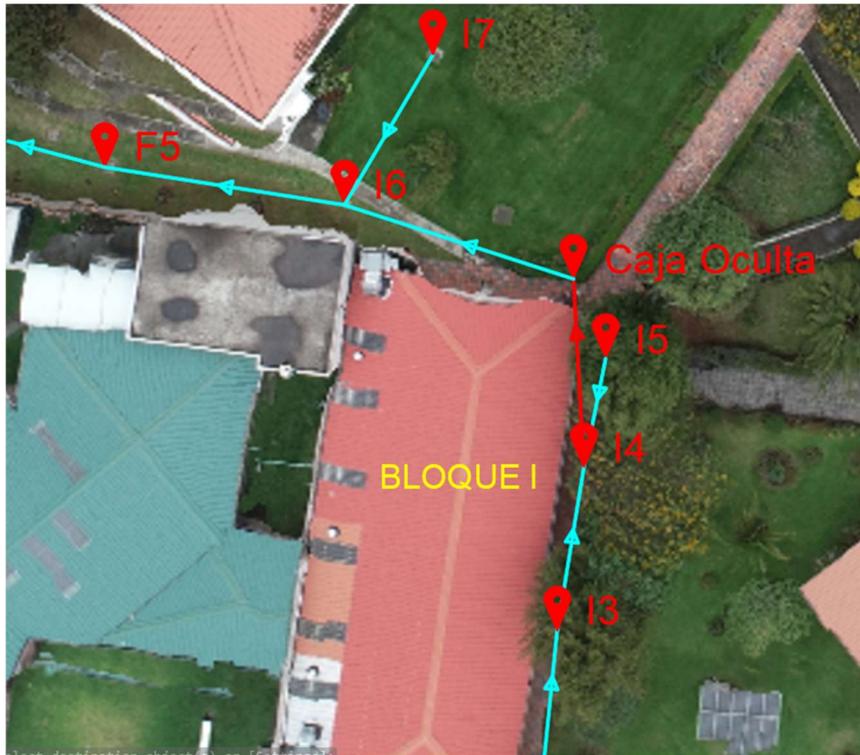


Nota. Fotografía de la obra de desvío de caudales. Elaborado por: El autor.

Para la sección que presenta una tubería tapada, se simuló un punto de descarga a través del cual se obtuvo un aporte de caudal de 10.65 L/s, el cual es importante y genera inundaciones debido a que, al no tener un punto de desfogue, el agua se desborda y tiende a acumularse.

Figura 28

Esquema de tubería tapada.

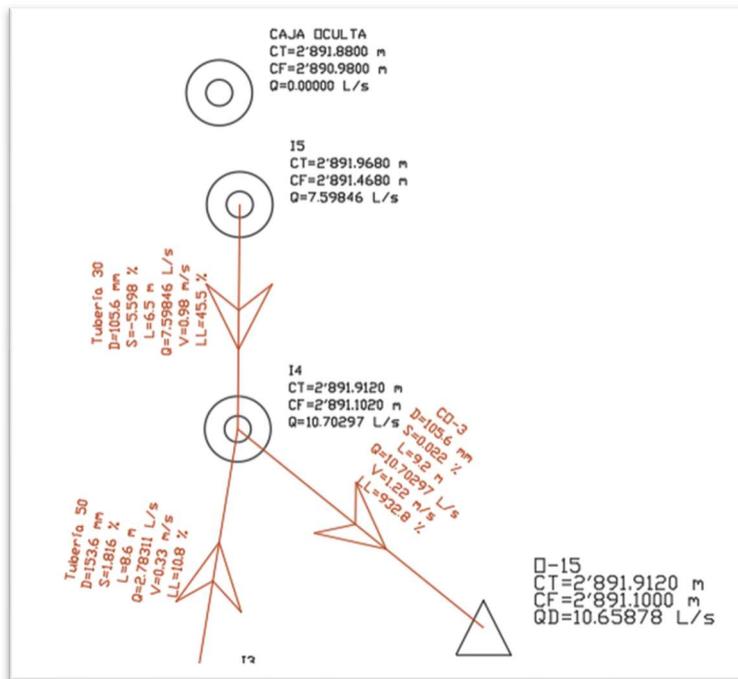


Nota. La línea de color rojo representa la tubería tapada mientras que las de color azul marino representan secciones sin taponamiento, las flechas indican el sentido de flujo y los puntos representan las cajas de revisión. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

El punto de desagüe fue colocado junto a la caja “I4” debido a que es allí donde se concentra la acumulación de agua al estar su tubería totalmente tapada y no tener otro punto de evacuación.

Figura 29

Resultados de simulación para sección con tubería tapada.



Nota. La figura en forma de triángulo representa un punto de descarga. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Durante el catastro de pozos se pudo evidenciar marcas de acumulación en las cajas, ya que se encontraban cubiertas de sedimentos e incluso algunas todavía tenían agua, algo a considerar teniendo en cuenta que la fecha en que se realizó el catastro de esa sección era época de sequía.

Figura 30

Caja con problema de sedimentación.



Nota. Fotografía donde se aprecia una acumulación de sedimentos en el fondo de una caja de revisión. Elaborado por: El autor.

Otra sección que presenta un problema considerable es la caja de revisión nombrada como "B9", en la cual se observa una importante acumulación de agua. La caja en sí presenta evidencias de haber sido modificada para conducir el caudal hacia el colector denominado "A7", lo cual no es idóneo debido a que genera mucha acumulación de flujo.

Figura 31

Ubicación de la caja de revisión "B9".

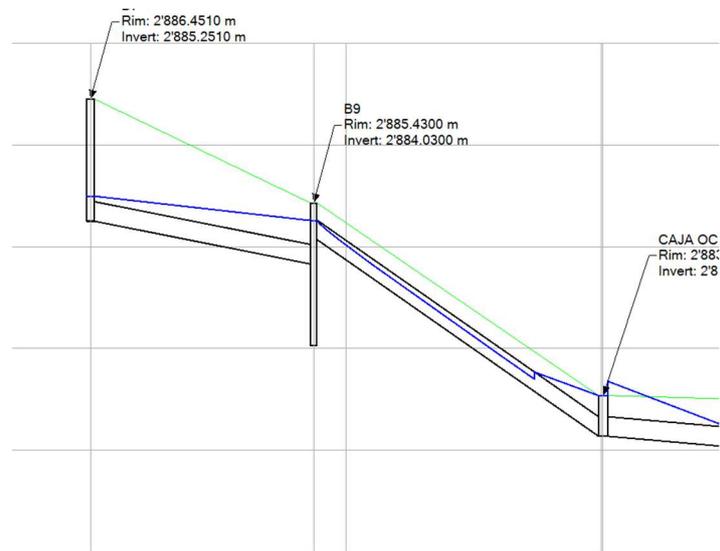


Nota. Vista aérea e información georreferencial de la caja nombrada como "B9". Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

En la simulación en el programa, se puede apreciar un perfil en el que se muestra una acumulación de agua en la caja "B9" bajo un evento de precipitación.

Figura 32

Resultados de simulación para la caja "B9".



Nota. Perfil donde se visualiza el comportamiento del agua en el tramo donde se ubica la caja de revisión "B9". Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Las anteriores problemáticas descritas fueron las más importantes encontradas al momento de simular el funcionamiento del sistema de alcantarillado en el anexo n se pueden observar los diferentes perfiles del funcionamiento del fluido en los cuales se presentan problemas ligeros de inundación en cajas los cuales, sin embargo, no llegan a desbordarse.

Realizando una comparación entre los datos obtenidos después de obtener los perfiles y los datos de los catastros se puede identificar que, si existe una concordancia, ya que se pudo visualizar marcas de agua en algunas cajas de revisión, signo de que si existieron inundaciones en las estructuras sin llegar a desbordarse.

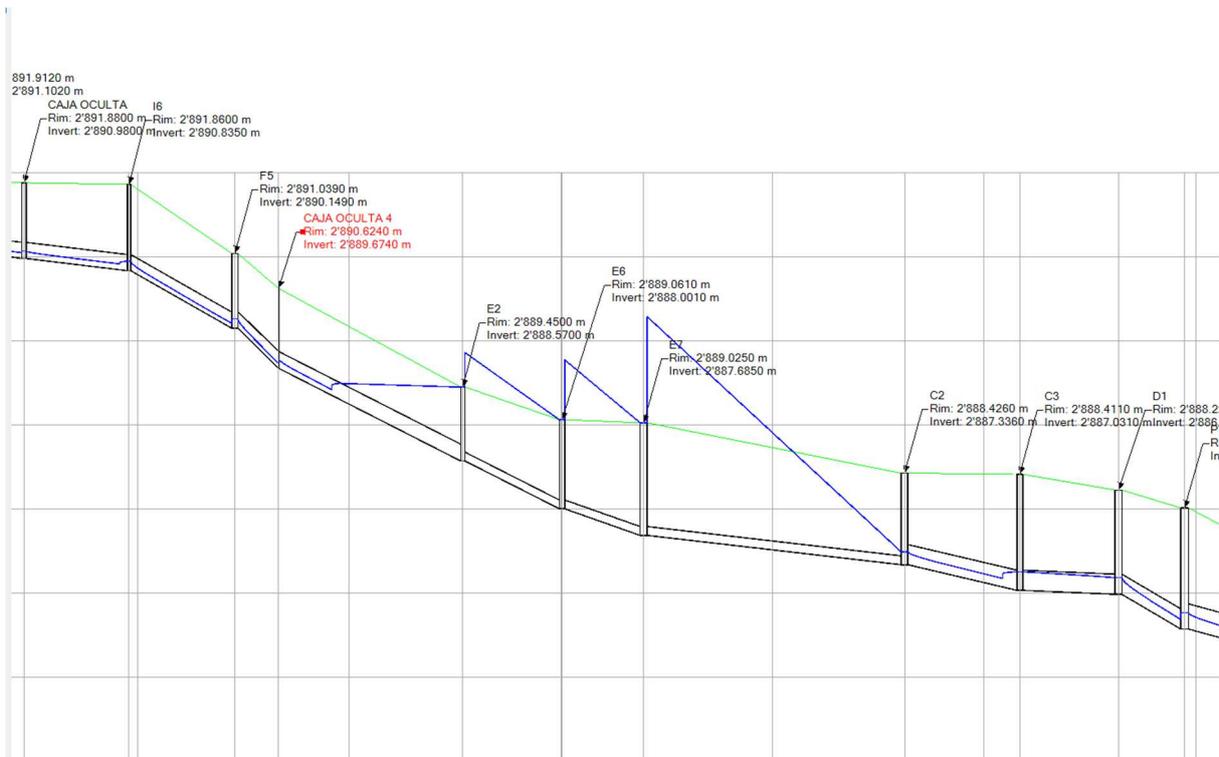
6.4.2 Segundo escenario

Para el segundo escenario se tuvo en consideración como sería el funcionamiento de la red de alcantarillado sin el taponamiento de la tubería de flujo de salida proveniente de la caja de revisión “I4” para evaluar el aporte extra de caudal proveniente de esa sección.

Bajo estas condiciones, considerando el aporte extra de caudal y sumado al achicamiento de tubería presente en las tuberías que conectan las cajas de revisión “E2”, “E6” y “C2”, se puede verificar un desbordamiento que en escenario planteado anteriormente no ocurría. Para mayor detalle (ver el anexo 11).

Figura 33

Perfil de tramo ubicado bajo el bloque E.



Nota. Perfil de tramo donde se aprecia un achicamiento de tubería. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Tras la evaluación de todos los demás tramos bajo el segundo escenario, únicamente se observó que la sección anteriormente descrita sufre cambios considerables que requieren un rediseño.

CAPÍTULO VII

PROPOSICIÓN DE MEJORAS

En vista de que el sistema de alcantarillado presenta determinadas falencias se propuso realizar mejoras que propicien el correcto funcionamiento del sistema de alcantarillado, teniendo en cuenta que se cuenta con únicamente 3 tramos considerados como iniciales (ver figura 16), únicamente se verificarán para estos el cumplimiento de normativas planteadas por la EMAAP. Teniendo esto en cuenta para el tramo de pozos que parte desde el “E1” hasta el “V4” y luego desemboca en la quebrada, mediante la simulación en el programa, se determinó que no necesita de ningún cambio, puesto que su diseño original ya cumple con los parámetros requeridos.

Figura 34

Perfil de sección entre los pozos "E1" hasta "V4".



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a lo largo de la sección que va desde el pozo “E1” hasta “V4”. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la siguiente tabla, el programa reporta los resultados obtenidos de la simulación y en ella se verifica el cumplimiento de los parámetros de velocidad, pendiente y el porcentaje de llenado.

Tabla 13

Resultados obtenidos del programa SewerGEMS para el tramo comprendido entre los pozos “E1” y “V4”.

Label	Start Node	Stop Node	Material	Length (m)	Slope (%)	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Flow/Capacity (%)
Tubería 124	C4	V2	PVC	37.69	2.744	599.2	1.82	1.8
Tubería 120	V3	V4	PVC	33.22	3.676	599.2	1.77	1.5
Tubería 119	E9	C4	PVC	32.65	3.124	599.2	1.70	1.7
Tubería 115	V2	V3	PVC	31.38	2.247	599.2	1.50	1.9
Tubería 112	E1	E9	PVC	27.59	1.892	599.2	0.79	0.3
Tubería 4	V4	O-6	PVC	5.41	7.951	599.2	2.32	1.0

Nota. Valores obtenidos tras realizar la simulación del comportamiento hidráulico. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Para la red del sistema de alcantarillado que conecta con los tramos iniciales se propone un ajuste en determinadas zonas para evitar el desborde de caudales en las cajas de revisión teniendo en cuenta que son tramos de aporte directo a los tramos iniciales.

Bajo este criterio se identificó 4 cambios importantes y un conjunto de mejoras menores para mejorar el funcionamiento del sistema de alcantarillado y se comprobó mediante el programa el óptimo funcionamiento de la red (ver anexo 12).

7.1 Primera mejora

El primer cambio corresponde al rediseño del interceptor que ubica junto a la quebrada y comprende el tramo entre los pozos “Pozo 0” hasta el “Pozo 8”. Para el funcionamiento

adecuado y cumplimiento de normativa, se optó por ampliar el diámetro de las tuberías y asignar determinados saltos para evitar generar velocidades muy altas.

Figura 35

Esquema en planta de ubicación de colector junto a la quebrada.



Nota. Los puntos representan los pozos de revisión y las líneas rojas las tuberías. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Figura 36

Perfil de tramo rediseñado.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través del tramo que va desde el pozo “Pozo 0” hasta el “Pozo 8”. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Tabla 14

Reporte de resultados obtenidos en SewerGEMS para el rediseño del tramo comprendido desde el “Pozo 0” hasta el “Pozo 8”.

Label	Start Node	Stop Node	Length (m)	Slope (%)	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Flow/Capacity (%)
Tubería 128 (2)	ZZ3	Pozo 3	32.91	1.094	1500	5.12	57.4
Tubería 128 (1)	Pozo 2	ZZ3	47.38	1.308	1500	5.47	52.3
Tubería 123 (2)	ZZ2	Pozo 2	23.29	0.836	1500	4.61	65.5
Tubería 123 (1)	Pozo 1	ZZ2	12.50	1.081	1500	5.09	57.4
Tubería 90 (2)	ZZ1	Pozo 1	11.07	0.936	1500	4.81	61.7
Tubería 90 (1)	Pozo 0	ZZ1	7.14	0.762	1500	4.44	68.4
Tubería 127	Pozo 6	Pozo 7	52.42	1.509	1500	5.77	48.9

Tubería 126	Pozo 4	Pozo 5	65.73	1.161	1500	5.23	55.8
Tubería 122	Pozo 3	Pozo 4	33.77	1.303	1500	5.47	52.6
Tubería 95	Pozo 5	Pozo 6	37.77	0.916	1500	4.78	62.8
Tubería 66	Pozo 7	Pozo 8	15.49	1.162	1650	5.23	43.2
Tubería 3	Pozo 8	Pozo O-9	4.91	0.814	1650	4.58	51.6

Nota. Resultados obtenidos tras la simulación del comportamiento hidráulico del flujo.

Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la tabla 13, se puede apreciar el cumplimiento de velocidad tanto máxima como mínima, la pendiente en todas las secciones es superiores a la mínima permitida y en lo que respecta al porcentaje de llenado, este no supera el 80%.

7.2 Segunda mejora

Como segundo cambio se realizó una reconexión de la caja “CAJA OCULTA 4” hacia “E4”, antes conectada en dirección de “E2”, para evitar el achicamiento de tubería y que no haiga un desbordamiento de caudal. Se tuvo en cuenta que la caja de revisión “E4” tiene una tubería de salida de 241.2 mm de diámetro lo cual es suficiente para transportar el aporte de caudal que transporta la sección que estaba tapada.

Figura 37

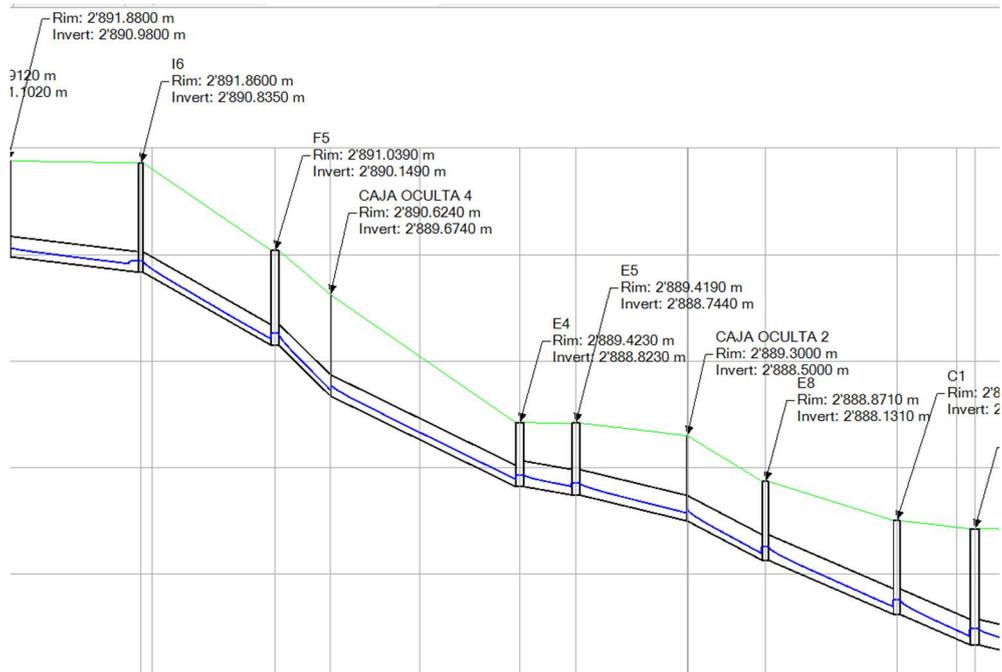
Esquema de reconexión de tubería.



Nota. La línea de color azul representa la sección de tubería reconectada desde “CAJA OCULTA 4” hacia la caja “E4”, las líneas rojas representan tuberías que no han sido modificadas, la línea punteada de color negro muestra la anterior conexión y las flechas indican el sentido de flujo. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Figura 38

Perfil de sección modificada.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través del tramo ubicado bajo el bloque

E. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

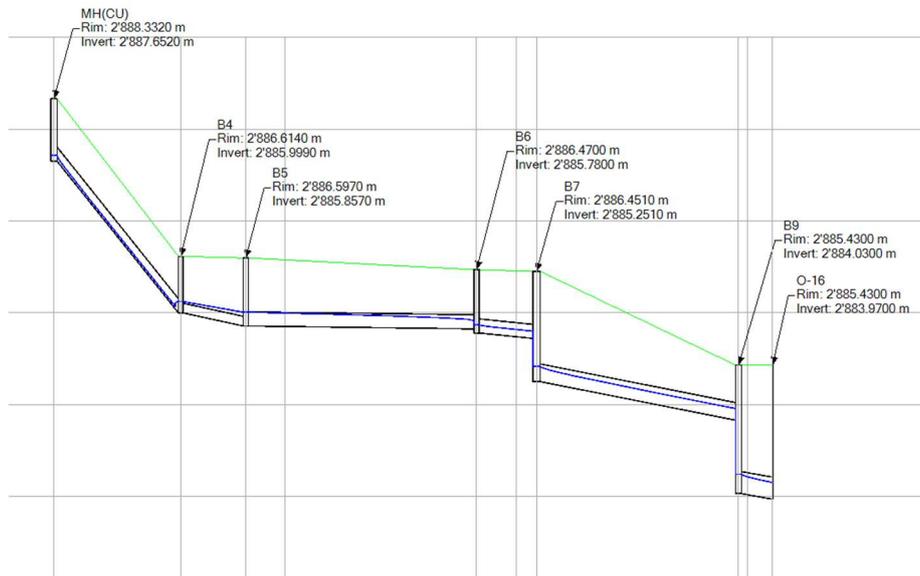
En la figura 39 se puede apreciar como al realizar la reconexión de la tubería, el caudal es redirigido por otro tramo que puede conducir el caudal sin riesgo considerable de que se genere un desbordamiento.

7.3 Tercera mejora

El tercer cambio tiene que ver con la caja “B9” la cuál su tubería de salida se encuentra tapada lo cual ocasiona un mal funcionamiento. Se sugiere realizar un trabajo de desagüe de la caja y reparación de la tubería tapada para evacuar el caudal sanitario y pluvial hacia la red de alcantarillado de la calle directamente.

Figura 39

Perfil de sección modificada para un correcto funcionamiento.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través de un tramo rediseñado.

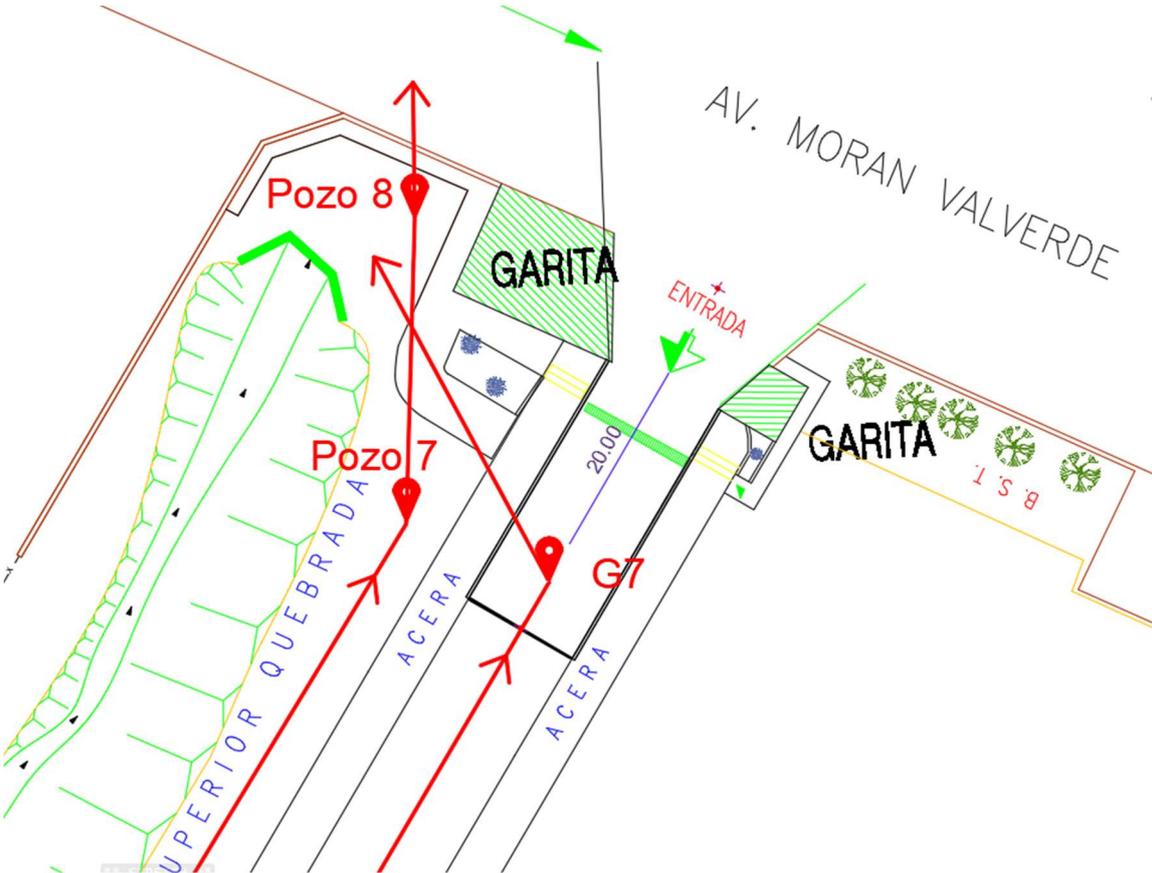
Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

7.4 Cuarta mejora

La cuarta sección para mejorar corresponde al tramo que componen los colectores: “G4”, “G5”, “G6” Y “G7”, en el cual se modificó las pendientes y profundidad de pozos para evitar que las tuberías choquen con las del rediseño del interceptor ubicado junto a la quebrada.

Figura 40

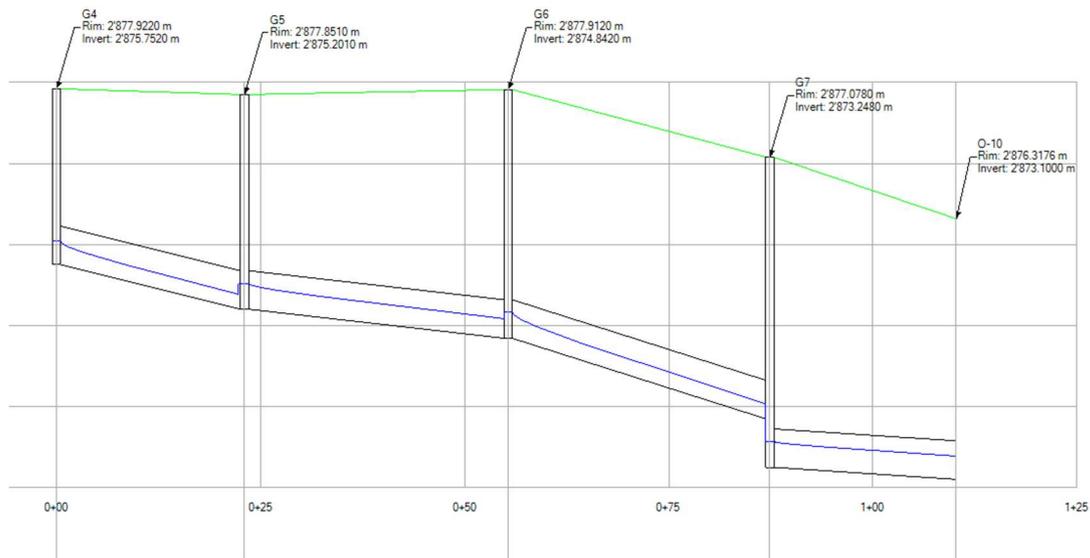
Esquema del cruce de dos tuberías



Nota. Esquema con vista en planta del cruce de dos tuberías. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Figura 41

Perfil de tramo modificado.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través del tramo rediseñado. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS.

En la tabla 14, se pueden observar los datos reportados por el programa, en el cual al igual que en los dos tramos iniciales anteriormente evaluados se puede verificar el cumplimiento de los parámetros de velocidad, pendientes y porcentaje de llenado de las tuberías.

Tabla 15

Resultados obtenidos del programa SewerGEMS para el tramo comprendido entre los pozos “G4” y “G7”.

Label	Start Node	Stop Node	Length (m)	Slope (%)	Diameter (mm)	Velocity (m/s)	Flow/Capacity (%)
Tubería 117	G5	G6	32.32	1.111	475.4	2.33	51.3
Tubería 116	G6	G7	32.02	3.104	475.4	3.42	31.1

Tubería 105	G4	G5	23.03	2.393	475.4	2.93	28.6
Tubería 88	G7	O-10	22.85	0.648	475.4	1.90	67.8

Nota. Resultados obtenidos tras la simulación del comportamiento hidráulico del flujo.

Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

7.5 Mejoras menores

Las mejoras menores corresponden a pequeños cambios en diferentes secciones donde se visualizan riesgos de desbordamiento de fluidos. Para los cambios se planteó la reutilización de las mismas cajas con el fin de únicamente realizar ampliación de tuberías en determinadas secciones. Únicamente en casos muy puntuales se modificó las dimensiones de ciertas cajas.

Tras el rediseño se verificó en el programa SewerGEMS que los tramos que tenían riesgos de desbordamiento ahora presentan un mejor comportamiento.

7.6 Evaluación del sistema de alcantarillado bajo diferentes tiempos de retorno

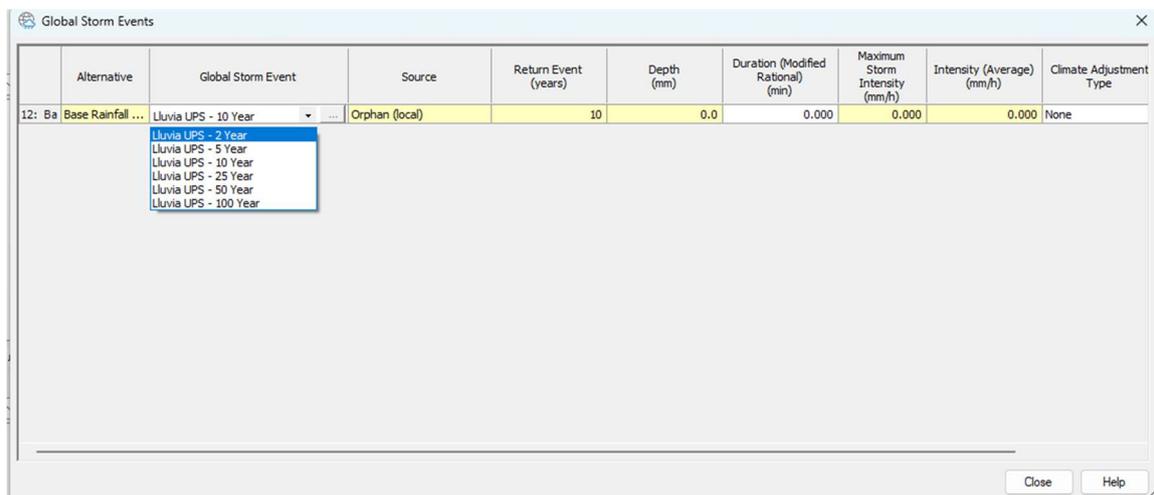
El programa SewerGEMS permite evaluar un sistema de alcantarillado bajo diferentes situaciones y modificarlas para obtener resultados al instante, lo cual permite plantear diferentes tipos de escenarios.

7.6.1 Tiempo de retorno a 10 años

El programa en la sección “Global Storm Events” permite modificar el tiempo de retorno que consideremos para la simulación. La EMAAPS establece que para este proyecto se use un tiempo de retorno de 5 años, sin embargo, esta evaluación con 10 años se realiza para visualizar posibles falencias en caso de un evento extremo de precipitación mayor al usado actualmente.

Figura 42

Tiempos de retorno en la interfaz del programa.



Nota. Pestaña donde se cambia el tiempo de retorno para el cual se va a evaluar el sistema de alcantarillado. Elaborado por: EL autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

Tras la ejecución del programa se obtuvieron resultados bastante positivos ya que no se notó un aumento de aporte de caudales pluviales considerables además de que, al visualizar los perfiles del comportamiento hidráulico a través de las diferentes secciones del sistema de alcantarillado, apenas se pudo observar un aumento del calado.

Figura 43

Resultados de simulación con un tiempo de retorno de 10 años.

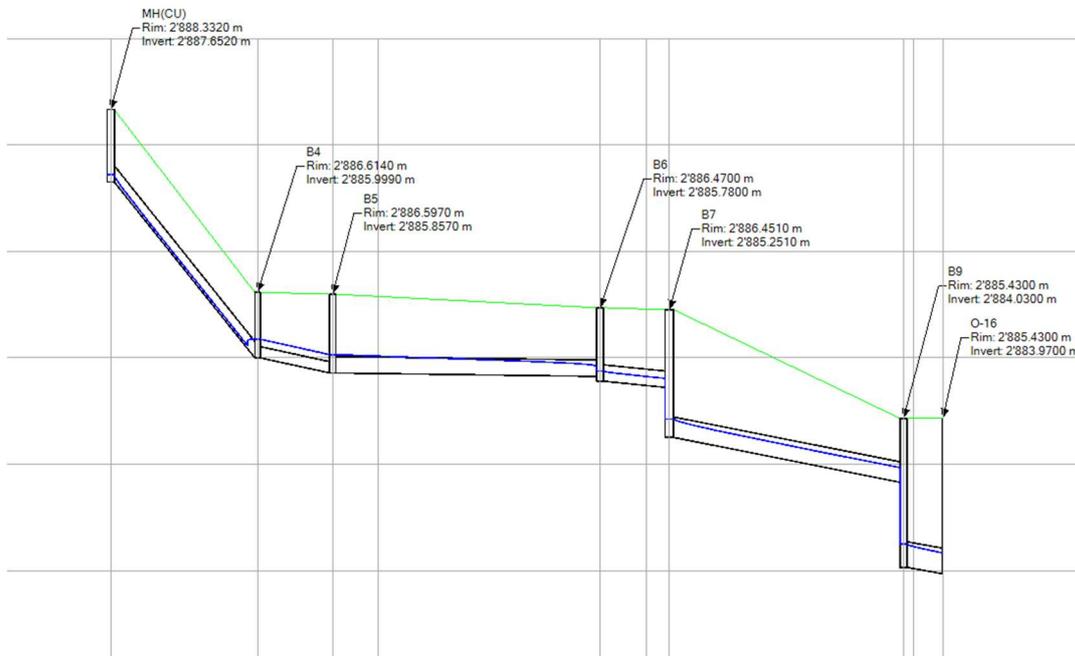


Nota. Las líneas verdes representan las tuberías cuya sección no se ha llenado completamente por el flujo, mientras que las líneas rojas indican un estado de completo llenado. Elaborado por: EL autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la figura 44 se observan los resultados obtenidos, en los que las secciones de color rojo representan tuberías que se encuentran en condiciones llenas. Sin embargo, al evaluar más de cerca su comportamiento hidráulico se ha encontrado que no representan un riesgo de desbordamiento de caudal considerable en comparación con el modelo donde no se consideran las mejoras.

Figura 44

Perfil de tramo ubicado en la parte trasera del bloque B.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través la sección rediseñada. Elaborado por: EL autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la figura 45 se puede apreciar las tuberías que han ocupado el 100% de su sección, pero aún bajo estas condiciones no se presentan problemas de desbordamiento en las cajas de revisión.

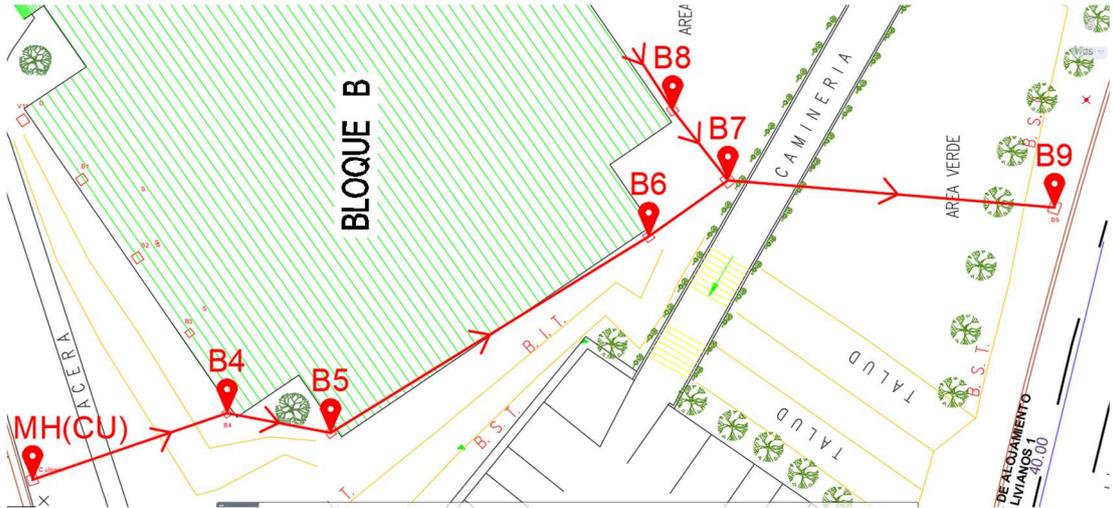
7.6.2 Tiempo de retorno a 25 años

Se consideró un tiempo de retorno a 25 años con el fin de evaluar el comportamiento a bajo caudales mayores y evaluar probabilidad de desbordamiento en las cajas o pozos de revisión.

Tras la simulación y obtención de resultados se puede evidenciar que no existe un cambio realmente notorio en todo el sistema de alcantarillado. La sección en la que mayores cambios se ven es nuevamente el tramo entre las cajas de revisión “MH(CU)” y “B9”.

Figura 45

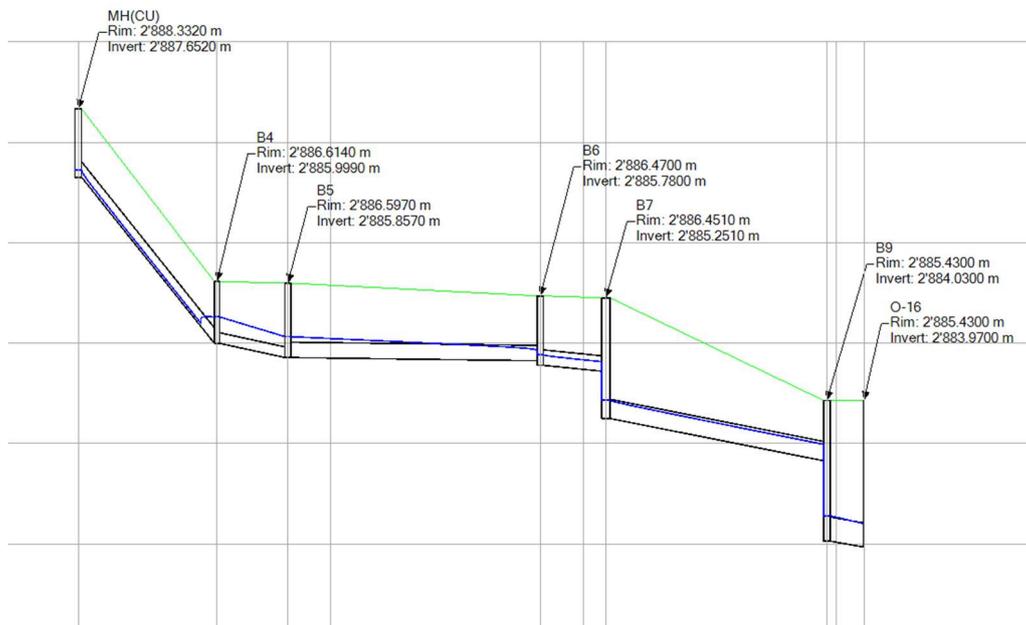
Esquema de vista en planta de colector.



Nota. Esquema de vista en planta de colector ubicado a tras del bloque B. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Figura 46

Perfil de tramo rediseñado.



Nota. Perfil que muestra el comportamiento del flujo a través de una sección rediseñada y bajo un tiempo de retorno de 25 años. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

En la figura 44 nuevamente se observan más estructuras con problemas de tuberías llenas de fluido, sin embargo, no se observan problemas de desbordamiento o que se aproximen bastante a ello. Para otras secciones pasa lo mismo, se aumenta el nivel del calado, se llenan algunas tuberías, mas no existe desbordamiento.

7.6.3 Comparación de caudales

El sistema de alcantarillado evaluado tiene la peculiaridad de que no posee un único punto de descarga de caudales, sino que presenta varios, algunos de ellos descargan aguas

lluvias directamente en la quebrada mientras que otros lo hacen en la red principal de colectores que se ubican en las calles que rodean el campus.

A continuación, se presenta un cuadro donde se representan todos los puntos de descarga y los caudales que desembocan en ellos, así como también la diferencia para períodos de retorno de 5, 10 y 25 años. La evaluación corresponde al sistema de alcantarillado rediseñado.

Figura 47

Ubicación de sitios de descarga de caudales.



Nota. Los puntos representan la ubicación de los sitios de descarga de caudales. Elaborado por: El autor a través del programa Civil 3D, 2024.

Tabla 16

Caudales de descarga del sistema de alcantarillado rediseñado para tiempos de retorno de 5, 10 y 25 años.

Caudales de descarga del rediseño del sistema de alcantarillado (L/s).					
Número	Nomenclatura	Sitio de descarga	Tiempo de retorno		
			5 años	10 años	25 años
1	O-1	Colector principal de la calle.	47.132	54.488	68.440
2	O-3	Quebrada	7.238	8.432	10.586
3	O-6	Quebrada	20.230	23.809	30.830
4	O-7	Colector principal de la calle.	20.976	24.159	30.403
5	O-8	Colector principal de la calle.	22.120	26.828	36.377
6	O-9	Colector principal de la calle.	5020.898	5025.083	5033.389
7	O-10	Colector principal de la calle.	211.604	241.216	313.927
8	O-13	Quebrada	7.316	8.220	9.766
9	O-14	Quebrada	30.750	35.180	42.607
10	O-16	Colector principal de la calle.	67.846	79.214	102.520

Nota. Comparación de los caudales descargados para diferentes tiempos de retorno. Elaborado por: El autor a través del programa SewerGEMS, 2024.

CONCLUSIONES

Durante la revisión de cajas de inspección y pozos se visualizaron problemas relacionados a desgaste por el tiempo de antigüedad de las estructuras, lo cual afecta de cierta manera en el funcionamiento del sistema de drenaje, ya que las superficies del fondo de las estructuras deben estar lisas para evitar acumulación de sedimentos. De todas las cajas de revisión que se analizaron, son 36 las que presentan acumulación de sedimentos, razón por la cual se encuentran en riesgo de generar taponamientos.

A partir de la realización de un análisis comparativo entre los datos de la modelación y datos obtenidos del catastro de pozos se puede concluir que las problemáticas del funcionamiento de la red tienen mucho más que ver con el deterioro de las estructuras de los colectores y factores externos, que con el diseño como tal. Uno de los factores externos más importantes es el aporte de caudal de zonas aledañas a la Universidad Politécnica Salesiana, el cuál es significativamente mayoral caudal para el cual fue diseñado el colector junto a la quebrada. También la gran acumulación de basura, hojas, restos de vegetación, tierra y materia orgánica en los sumideros ocasiona el incorrecto flujo del caudal pluvial a través del sistema de alcantarillado.

Figura 48

Sumidero parcialmente tapado.



Nota. Fotografía de sumidero en el cual se visualiza una acumulación de sedimento. Elaborado por: El autor.

Figura 49

Tubería de sumidero parcialmente tapada.



Nota. Fotografía de sumidero en el cual se visualiza una acumulación de basura en la tubería de desagüe. Elaborado por: El autor.

Para evitar la acumulación de residuos en los sumideros será necesario realizar limpiezas periódicas, así como también reemplazar rejillas en mal estado o ineficientes, por otras cuyo diseño sea óptimo para evitar el ingreso de desechos que puedan generar obstrucciones en las tuberías.

El tramo de pozos que se ubican junto a la quebrada representa el cambio más importante debido a que requiere un cambio de todas las tuberías y pozos de revisión para un correcto direccionamiento del flujo ya que debido a que ingresan cantidades muy elevadas de caudal, este debe ser redirigido a la quebrada, de modo que, si se rediseñara este tramo, todo el caudal combinado perteneciente a zonas aledañas a la Universidad Politécnica Salesiana pasarían por las tuberías y no tendrían que verterse en la quebrada.

El programa SewerGEMS resultó ser muy útil para la simulación hidráulica de un sistema de alcantarillado, ya que se pudieron ingresar diferentes escenarios para el análisis de resultados. Se aprovechó el recálculo de automatizado para reconectar secciones y evaluar el funcionamiento hidráulico. Se usó la función que tiene el programa de mostrar perfiles donde se puede visualizar el comportamiento del agua a través de las estructuras, para verificar velocidades, pendientes, caudales y posibles desbordes.

Al realizar la evaluación del funcionamiento hidráulico del sistema de alcantarillado rediseñado considerando diferentes períodos de retorno, se puede concluir que los cambios realizados optimizan el funcionamiento de las estructuras y evitan desbordes de fluidos incluso para eventos de precipitación con tiempos de retorno de 25 años. El principal cambio que fue el rediseño del tramo que comprende los pozos que se ubican junto a la quebrada que va desde el “Pozo 0” hasta el “Pozo 8”, mostró un adecuado comportamiento ante eventos de

precipitación mayores a los estimados para 5 años, en donde tuvo velocidades que no sobrepasaron los 6 m/seg, así como tampoco de presentaron secciones con porcentajes mayores al 80% de llenado, de la misma manera para los otros dos tramos iniciales donde no se obtuvieron resultados mayores a los máximos permitidos. Para el resto de los tramos no se presentaron desbordes de caudales en las cajas de revisión.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos del proyecto realizado y al análisis de estos bajo diferentes condiciones se propone las siguientes recomendaciones:

Realizar una evaluación para determinar la factibilidad de realiza un proyecto de reconstrucción del colector ubicado junto a la quebrada, debido a que es el único tramo que requiere ser rediseñado en su totalidad y teniendo en cuenta que las estructuras son de dimensiones considerables ya que se propone el uso de tuberías con diámetros mayores a 1500mm.

Reparar el fondo de las cajas de revisión que presenten problemas de desgaste ya que esto genera la retención de sedimentos que al acumularse pueden causar taponamiento en tuberías, mediante el catastro se identificó las cajas que presentan este problema.

Cambiar las tapas de hormigón en mal estado, ya que algunas no presentan manijas para su levantamiento, lo cual dificulta su apertura, es recomendable optar por diseños de tapas de metal, las cuales son más fáciles de levantar. Además, existen cajas cuyas tapas presentaban problemas de fisuras y grietas que pueden poner en peligro el cuerpo de estas.

Evaluar la posibilidad de realizar proyectos para reemplazar las tuberías que presentaban el problema de taponamiento por acumulación de sedimentos, esto con el fin de evitar el desborde de caudales en las cámaras de inspección.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, F. (1989). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. México: Limusa.
- Cabay, K., & Hervás, E. (2020). *Rediseño del sistema de alcantarillado combinado y diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el barrio Selva Alegre, ubicado en la parroquia de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha*. [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana] Repositorio institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19585>
- Cárdenas, J., Pesántez, F., Calle, J., Arévalo, P., & Serrano, X. (2024). *EL LIBRO BLANCO*. Cuenca: Abya-Yala.
- Cárdenas, T., & Brian, L. (2023). *Modelación del Alcantarillado de la Calle Pío Bravo, Cuenca [Tesis de grado, Universidad del Azuay]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/13389>
- Carmona, R. P. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Chicaiza, D. (2020). *MEMORIA TECNICA PARA EL ESTUDIO DEL CAUDAL QUE EVACUA EN LA QUEBRADA COLINDANTE A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA - CAMPUS SUR*. Quito: Gestión Documental UPS.
- Chow, V. T., & Mays, D. M. (2000). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGRAW-HILL.
- EMAAP. (2009). *NORMAS DE DISEÑO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PARA LA EMAAP-Q*. Obtenido de

https://www.aguaquito.gob.ec/Alojamientos/PROYECTO%20LA%20MERCED/ANEXO%202%20NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf

Estudiantes, U. (2019). Puntos de Control GPS. *Gestión Documental UPS*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito.

GisUPS. (s.f.). *Smart Campus UPS 1.0*. Obtenido de Smart Campus UPS:

<https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=9556f01170fd455da4c2ca521e9d200b>

Guyer, P. (2019). *Una Introducción a la Ingeniería de Control de inundaciones*. California: Independently Published.

Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo*. España: Reverte.

INAMIH. (2015). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*. Quito.

INTESCO. (s.f.). *¿Sabes en qué se diferencian un Pluviómetro y un Pluviógrafo?* Obtenido de INTESCO: <https://www.intesco.com.co/category/hidrologia/>

Mediero, L. (2021). *Hidrología*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.

Morassutti, F. (2021). *Diseño de estructuras de corrección de torrentes y retención de sedimentos*. Bogotá: Ediciones de la U.

NEC. (2011). *Capítulo 16. NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

Pilco, J. (2023). *Estudio del aprovechamiento de los caudales subterráneos de los predios del “bloque G”, de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur [Tesis*

- de grado, Universidad Politécnica Salesiana*]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24274>
- Plastigama. (s.f.). *Línea Sanitaria Premium: Tuberías y Accesorios para Desagüe*. Obtenido de PLASTIGAMA WAVIN: https://wavin.com/ec/s/C50_F501_S505/linea-sanitaria-premium-tuberias-y-accesorios-para-desague/p
- Quishpe, N., & Montecinos, R. (2016). *Levantamiento topografico georreferenciado para el diseño de la aducción del sistema de agua potable y el sistema de alcantarillado sanitario. Municipio de San Pedro de Curahuara- Primera Sección- Provincia Gualberto Villarroel - Departamento La Paz*. [Proyecto de Grado, Universidad Mayor de San Andres] Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/12121>
- Rogel, K., & Gallardo, M. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur* [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7555>
- ViajandoX. (s.f.). *Parroquias de Quito*. Obtenido de ViajandoX: <https://ec.viajandox.com/quito/parroquias-de-quito-A3897>

ANEXOS

Existen 160 páginas de anexos que contienen: Planos arquitectónicos, topográficos, tablas de contenidos, fichas catastrales, entre otras, que se encuentran en una carpeta en PDF y que consta en la biblioteca de la UPS junto con este Trabajo de Titulación.