

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA: EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO
PLUVIAL CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
PRECIPITACIÓN A TRAVÉS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA.

AUTOR:

DIAZ GALLEGOS ESTEBAN PATRICIO

TUTOR:

DR. JOSEPH SÁNCHEZ-BALSECA, PHD

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	CAPITULO 1: GENERALIDADES	1
1.1	Tema.....	1
1.2	Justificación e Importancia.....	1
1.3	Objetivos	2
1.3.1	Objetivo General.....	2
1.3.2	Objetivos específicos	2
1.4	Diseminación de la investigación.....	3
1.5	Alcance.....	3
1.6	Planteamiento del problema.....	3
1.7	Hipótesis.....	5
2.	CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	6
2.1	Marco Teórico.....	6
2.1.1	Definiciones hidráulicas.....	6
2.1.1.1	Diámetro Nominal.....	6
2.1.1.2	Coeficiente de escorrentía	6
2.1.1.3	Duración de la lluvia	6
2.1.1.4	Intensidad	6
2.1.1.5	Hietograma	6
2.1.1.6	Coeficiente n de Manning	7
2.1.1.7	Ecuación de Manning.....	7
2.1.2	Definiciones de alcantarillado.....	7

2.1.2.1	Sistema de Alcantarillado.....	7
2.1.2.2	Alcantarillado pluvial.....	7
2.1.2.3	Alcantarillado separado.....	7
2.1.2.4	Pozo de visita	7
2.1.3	Definiciones de eventos extremos de precipitación.....	8
2.1.3.1	Periodo de retorno	8
2.1.3.2	Distribución de Gumbel (Valor Extremo Tipo I).....	8
2.2	Estado del Arte	9
3.	CAPÍTULO 3: INFORMACION Y METODOLOGÍA	16
3.1	Descripción de la información	16
3.1.1	Datos del terreno	16
3.1.2	Coefficiente de escorrentía C	17
3.1.3	Registros históricos de precipitación	17
3.2	Modelo Probabilístico (Distribución de Gumbel).....	18
3.3	Desarrollo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF).....	18
3.4	Curvas IDF propuestas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)	19
3.4.1	Estación.....	20
3.4.2	Ecuaciones de intensidad máxima	21
3.5	Método Racional para el cálculo de caudales de diseño	21
3.6	Parámetros mínimos de diseño.....	22
3.7	Simulación en SewerGems.....	25

3.8	Validación de datos mediante una memoria de cálculo en Excel	25
4.	RESULTADOS.....	26
4.1	Curvas IDF	26
4.1.1	Ecuación de Intensidad calculada	26
4.1.2	Gráfica de las curvas IDF	26
4.2	Trazado de la red de alcantarillado	27
4.3	Resultados Simulación	30
4.4	Porcentaje de variabilidad de las variables físicas e hidráulicas de la red para todos los periodos de diseño.....	32
4.5	Comparación de los parámetros físicos e hidráulicos en los resultados de diseño usando datos de precipitación satelital (CHIRPS) y de pluviografos locales cercanos (INAMHI).....	35
4.5.1	Periodo de retorno de 5 años.....	35
4.5.2	Periodo de retorno de 10 años.....	39
4.5.3	Periodo de retorno de 25 años.....	41
4.5.4	Periodo de retorno de 50 años.....	43
4.5.5	Periodo de retorno de 100 años.....	46
4.6	Evaluación de Vulnerabilidad	48
4.6.1	Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 5 años	48
4.6.2	Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 10 años	51
4.6.3	Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 25 años	53
4.6.4	Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 50 años	56

5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
5.1	Discusión de resultados de la simulación.....	59
5.2	Discusión de resultados de la Comparación de parámetros físicos e hidráulicos (CHIRPS vs. INAMHI)	59
5.3	Discusión de resultados de Evaluación de Vulnerabilidad	60
6	CONCLUSIONES	61
7	RECOMENDACIONES	62
8.	BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla del estado del arte	9
Tabla 3 Datos de la estación LA TOLA	20
Tabla 4 Tabla de ecuaciones de intensidad máxima correspondientes a la estación LA TOLA	21
Tabla 8 Tabla resumen de las propiedades físicas e hidráulicas del diseño de alcantarillado mediante la ecuación de intensidad propia.	31
Tabla 9 Tabla del porcentaje de variación de parámetros físicos e hidráulicos en función del periodo de retorno de 5 años	34
Tabla 10 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 5 años	37
Tabla 11 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 10 años	39
Tabla 12 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 25 años	42
Tabla 13 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 50 años	44
Tabla 14 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 100 años	47

Tabla 15 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 5 años.....	50
Tabla 16 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 10 años.....	52
Tabla 17 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 25 años.....	54
Tabla 18 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 50 años.....	57

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1 Mapa hipsométrico de la zona de estudio.....	17
Figura 2. Radio de acción de la estación La Tola	20
Figura 4 Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la cuenca de estudio, derivadas de 44 años de datos de precipitación CHIRPS (1981-2025) utilizando la distribución de Gumbel (valor extremo tipo I) y los factores de reducción de duración de Campos Aranda (2010).....	27
Figura 5 Mapa del trazado de la red de alcantarillado pluvial, con los conductos, pozos de revisión y polígonos de Thiessen.....	29

1. CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 Tema

Evaluación del diseño de un sistema de alcantarillado pluvial considerando los efectos del cambio climático sobre la precipitación a través de simulación numérica.

1.2 Justificación e Importancia

Los sistemas de drenaje de aguas pluviales urbanas son infraestructuras críticas diseñadas para gestionar la esorrentía de las precipitaciones y prevenir inundaciones en zonas densamente pobladas (Zhang et al., 2025; Khatri et al., 2026). La integridad funcional de estos sistemas no es absoluta; su desempeño está bajo límites de diseño que, al ser excedidos por fenómenos hidrometeorológicos intensos, pueden comprometer la estabilidad del sistema (Hughes et al., 2021).

Aunque el cambio climático se define como la variación persistente de los patrones climáticos globales medida a través de fluctuaciones en la temperatura media durante escalas temporales de décadas a milenios (Jerard et al., 2018; Verma, 2019), estamos viviendo efectos climáticos cambiantes a una velocidad sin precedentes (Dietz et al., 2020). Bajo este escenario de variabilidad, resulta imperativo evaluar las repercusiones de este dinamismo sobre la infraestructura civil, especialmente ante la alta confianza en las proyecciones que señalan una intensificación en la frecuencia y magnitud de las precipitaciones en la mayoría de las regiones. A escala global, se estima que las precipitaciones diarias extremas se incrementarán aproximadamente un 7% por cada 1°C de calentamiento global (IPCC, 2021). Por tal motivo, se prevé un aumento en desbordamientos de sistemas de alcantarillado producto del aumento de precipitaciones intensas no previstas debido al cambio climático, perjudicando la calidad de vida de los habitantes de la zona (Olds et al., 2018).

Es imperativo un excelente diseño para la red de alcantarillado caso contrario lejos de brindar una solución se generará inconvenientes en el manejo de aguas pluviales. Es por ello que se realizara simulaciones en el software especializado SewerGEMS, el cual brinda herramientas de modelación de redes de alcantarillado (EADIC Engineering & Business School, 2023).

En la presente investigación se realizará el diseño y evaluación de un sistema de alcantarillado, analizándose también su vulnerabilidad frente a posibles eventos extremos producto del cambio climático.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la resiliencia hidráulica y la vulnerabilidad ante posibles efectos debido al cambio climático del diseño del sistema de alcantarillado pluvial en la comunidad ubicada a 300 metros de la zona turística 700 gradas, Troncal de la Sierra, Pifo, cantón Quito, provincia de Pichincha, analizando periodos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 años.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño hidráulico del sistema de alcantarillado pluvial para el sector Troncal de la Sierra (Pifo), considerando los criterios normativos para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Comparar los parámetros físicos e hidráulicos obtenidos mediante la aplicación de curvas IDF generadas con datos de precipitación satelital frente a las resultantes de la ecuación dada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- Evaluar la resiliencia hidráulica y la vulnerabilidad del sistema diseñado ante eventos de precipitación extremos.

1.4 Diseminación de la investigación

Sánchez-Balseca,J., Díaz-Gallegos,E., Tapia-Montero,S. y Pérez-Foguet,A. (2026). **A hierarchical generalized additive model for assessing hydraulic vulnerability of urban drainage systems under extreme rainfall.** Enviado a la revista Journal of Water Process Engineering (with editor).

1.5 Alcance

Se diseñará un sistema de alcantarillado pluvial con hojas de cálculo y software especializado (SewerGems, licencia de estudiante) para 5 tipos de eventos de precipitación (períodos de retorno de 5, 10, 25, 50, y 100 años) en una localidad peri-urbana de alta montaña en el cantón Quito, Ecuador. Los diseños se ajustan a los lineamientos de diseño propuestos por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) en 2016. Se compararon las variables hidráulicas y geométricas de los 5 diseños generados para determinar el grado de variabilidad a diferentes eventos de precipitación. Después, para cada diseño se analizaron eventos de precipitación con períodos de retorno superiores al del diseño, es decir, para el diseño de alcantarillado que consideró una precipitación de 5 años de período de retorno, se simularon eventos de 10, 25, 50 y 100 años (lo mismo se hizo para cada diseño). Aquí se identificarán tramos hidráulicos vulnerables. Finalmente, se realiza un análisis comparativo con los hietogramas de 5, 10, 25, 50, y 100 años de retorno propuestos por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). El presente trabajo no considera evaluaciones estructurales y económicas.

1.6 Planteamiento del problema

La conversión de cobertura natural en áreas residenciales, carreteras y otras superficies pavimentadas producto de la rápida urbanización disminuye significativamente la infiltración generando picos de escorrentía superficial grandes, acompañado de un aumento en el volumen de las inundaciones (Bibi et al., 2023).

A nivel mundial se tiene constancia que más de 1500 millones de personas siguen sin tener acceso a servicios básicos de saneamiento (WHO, 2024). En Ecuador, según Quillupangui (2023), la cobertura del servicio de alcantarillado alcanza el 65.8%. Si bien esta cifra representa un incremento del 12.2% en comparación con el censo del año 2010, evidencia que una parte significativa de la población aún carece de este servicio básico.

En el plan de ordenamiento territorial 2019-2023 de Pifo, se menciona que 8 de cada 10 viviendas están conectadas a la red pública de alcantarillado lo cual puede parecer un alto valor, pero si buscamos el sector específico el cual es “Periférico Pifo” la cifra baja estrepitosamente ya que, solo el 9.30% cuentan con alcantarillado (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Pifo, 2024).

El correcto manejo de aguas pluviales y residuales evita la propagación de enfermedades causantes de la muerte de millones de personas al año y aumenta enormemente la calidad de vida de las personas (WHO, 2024).

En la ingeniería sanitaria, los sistemas de recolección se clasifican principalmente en dos categorías: combinados y separados (Chow et al., 1994). En donde el sistema combinado conduce conjuntamente las aguas residuales, domésticas, comerciales e industriales, y las aguas de lluvia (CONAGUA, 2016).

El alcantarillado combinado inicialmente puede parecer la mejor opción, debido que se gestiona mejor los impactos hidráulicos (como la erosión) en comparación con el sistema separado (De Toffol et al., 2007). Un gran problema de este tipo de sistemas es la afectación en la salud en caso de mal funcionamiento o colapso del mismo; debido a los procesos fisicobioquímicos que ocurren dentro del alcantarillado, favoreciendo la aparición de

biopelícula en los colectores que actúan como reservorios de contaminantes y microorganismos (Gao et al., 2022).

Un alcantarillado separado es aquel que separa la descarga de las aguas lluvia de las aguas, funcionando como dos sistemas de alcantarillado. Al separar los sistemas de alcantarillado se permite la descarga directa de la escorrentía pluvial hacia los cuerpos receptores (Revelo Bastidas, 2013). En consecuencia, se mitiga la carga hidráulica sobre las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), pues durante tormentas intensas sufren el riesgo de sobrecarga teniendo que evacuar aguas residuales sin tratar (Perry et al., 2024). Su diseño es de mayor en cuenta a dimensión se refiere pues el caudal a tratar es mayor al juntarse las aguas residuales y pluviales (Enríquez Enríquez & Sarmiento Cayamcela, 2023).

Sin embargo, la integridad de este sistema se ve comprometida por la abrasión. Las altas velocidades hidráulicas facilitan el arrastre de material particulado abrasivo, lo cual acelera el deterioro físico de los conductos (Enríquez Enríquez & Sarmiento Cayamcela, 2023).

1.7 Hipótesis

Los diseños convencionales de sistemas de alcantarillado pluvial que consideran eventos de precipitación con periodos de retorno de 5 y 10 años, podrían subdimensionar la capacidad hidráulica y geométrica para eventos de precipitación con retorno de 25, 50 y 100 años que son cada vez más frecuentes por la influencia del calentamiento global. Además, el cambio en los parámetros geométricos en los diseños convencionales podrá realizarse a partir de ciertos tramos identificados como vulnerables en el presente trabajo.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco Teórico

2.1.1 Definiciones hidráulicas

2.1.1.1 Diámetro Nominal

Medida que corresponde a la denominación comercial del tamaño de los componentes usados en los sistemas de alcantarillado (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019).

2.1.1.2 Coeficiente de escorrentía

Es la relación entre el volumen de agua de precipitación que se convierte en escorrentía superficial, es decir, el caudal que ingresa a las tuberías y el volumen total de agua precipitada (Revelo Bastidas, 2013).

2.1.1.3 Duración de la lluvia

Es el intervalo de tiempo que media entre el principio y el final de la lluvia o evento de precipitación (CONAGUA, 2019).

2.1.1.4 Intensidad

Cantidad de agua de lluvia que cae en un punto determinado en una unidad de tiempo y a su vez es inversamente proporcional a la duración de la tormenta (INAMHI, 2019)

2.1.1.5 Hietograma

Distribución temporal de la lluvia expresada en forma gráfica (usualmente en diagrama de barras), compuesta por intervalos de tiempo definidos previamente (CONAGUA, 2019).

Para la construcción del hietograma se empleó la metodología de bloques alternos, el cual permite el diseño tormentas sintéticas a partir de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F), mencionado en el apartado 5.3.5. de la normativa EMAAP-Q-2009.

2.1.1.6 Coeficiente n de Manning

Es un coeficiente derivado empíricamente que depende especialmente de la rugosidad superficial del material (Sabah & Bachir, 2023).

2.1.1.7 Ecuación de Manning

Romero Freire (2015) menciona que la ecuación de velocidad más usada en canales abiertos pues muestra resultados satisfactorios, está en función del radio hidráulico (R), de la pendiente (S) y del coeficiente de rugosidad n y está dada por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

2.1.2 Definiciones de alcantarillado

2.1.2.1 Sistema de Alcantarillado

Red de conductos, generalmente tubería, a través de las cuales se deben evacuar en forma eficiente y segura las aguas residuales domésticas, y de establecimientos comerciales o pluviales (CONAGUA, 2019).

2.1.2.2 Alcantarillado pluvial

Sistema de evacuación de la escorrentía superficial producida por la precipitación (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONAGUA, 2015).

2.1.2.3 Alcantarillado separado

Es un sistema en donde se separa la evacuación de aguas residuales y las producidas por la lluvia (CONAGUA, 2016).

2.1.2.4 Pozo de visita

Estructura que permite la inspección, ventilación y limpieza de la red de alcantarillado, se utilizan para la unión de dos o más tubos y en todos los cambios de diámetro, dirección y pendiente (CONAGUA, 2019).

2.1.3 Definiciones de eventos extremos de precipitación

2.1.3.1 Periodo de retorno

Es el número de años en los que se espera que un cierto caudal producido por precipitaciones se repita o se supere, sin embargo, este concepto no garantiza condiciones excepcionales de lluvia de poca frecuencia (Aldás Castro, 2011).

Según Chow et al. (1994), el periodo de retorno se define estadísticamente como el inverso de la probabilidad de que un evento determinado sea igualado o excedido en cualquier año.

2.1.3.2 Distribución de Gumbel (Valor Extremo Tipo I)

La Distribución de Gumbel es un modelo estadístico utilizado para analizar la frecuencia de eventos extremos. Se emplea específicamente para predecir la probabilidad de que ocurran eventos máximos que superen cierta magnitud dentro de un periodo de tiempo determinado (Osei et al., 2021).

2.2 Estado del Arte

Para fomentar el marco de la investigación, es necesario analizar el estado del arte y los enfoques de investigación actuales en el área de estudio. Por tanto, se ha sintetizado los hallazgos y avances recientes, permitiendo identificar criterios aplicables a este trabajo. A continuación, se presenta una tabla para facilitar el análisis de propuestas, metodologías, enfoques y conclusiones de la literatura.

Tabla 1 Tabla del estado del arte

AUTOR	AÑO Y UBICACIÓN	PROPUESTA	RESULTADOS
Luis Cea y Pierfranco Costabile	Año: 2022 Lugar: Coruña, España y Cosenza, Italia	Título: Riesgo de inundaciones en zonas urbanas: Modelización, gestión y adaptación al cambio climático. Una revisión. Propuesta: Revisar los métodos y avances recientes referente a la modelación y gestión del riesgo frente a inundaciones urbanas	<ul style="list-style-type: none"> • Actualmente, las simulaciones usando modelos 2D dinámicos son la herramienta más efectiva para el estudio de inundaciones urbanas. • Para el estudio específico de inundaciones pluviales, el estudio con modelos de drenaje dual 1D-2D presentan resultados satisfactorios. • Una excelente forma de mitigar los riesgos de inundaciones es emplear sistemas de drenaje urbano resiliente.

		tomando en consideración el cambio climático.	
James Hughes, Katherine Cowper-Heays, Erica Olesson, Rob Bell, Adolf Stroombergen	Año: 2021 Lugar: Nueva Zelanda	Título: Impactos e implicaciones del cambio climático en los sistemas de aguas residuales: una perspectiva de Nueva Zelanda Propuesta: Analizar la importancia de los impactos del cambio climático en los sistemas de aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> • El cambio climático vulnera la integridad de los sistemas de aguas residuales • La erosión y las inundaciones son las principales causas por las que se presentan daños a la infraestructura. • Los nuevos sistemas de aguas residuales se deben adaptar o tomar en cuenta los efectos del cambio climático con un enfoque resiliente.
Natalia Duque, Daniel Duque, Andrés Aguilar, Juan Saldarriaga	Año: 2020 Lugar: Suiza y Bogotá, Colombia	Título: Selección del diseño de la red de alcantarillado y diseño hidráulico mediante un marco de optimización matemática. Propuesta: Desarrollar un marco de optimización	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe realizar el trazado de la red y resolver los problemas hidráulicos de manera conjunta mediante una modelación matemática para obtener un diseño correcto. • El primer trazado no siempre es lo correcto, por tanto, se deben realizar varias iteraciones hasta llega al diseño optimo. • Redes de alcantarillado más optimizadas.

		matemática iterativo para resolver conjuntamente los problemas de selección del trazado y diseño hidráulico de redes de alcantarillado.	
Hany F. Abd-Elhamid, Martina Zeleňáková, Zuzana Vranayová, Ismail Fathy	Año: 2020 Lugar: Dammam, Arabia Saudita	Título: Evaluación del impacto del crecimiento urbano en el diseño de sistemas de drenaje de aguas pluviales. Propuesta: Analizar cómo el cambio en el coeficiente de escorrentía debido a la urbanización afecta el diseño de sistemas de drenaje pluvial.	<ul style="list-style-type: none"> • El crecimiento urbano provoca una disminución del tiempo de retardo del sistema. • Los costos de construcción para los sistemas de drenaje se ven incrementados. • Un aumento en el coeficiente de escorrentía incrementa tanto la descarga de salida, como la velocidad en los sistemas de drenaje pluvial.
Juan Saldarriaga, Jesús Zambrano, Juana Herrán, Pedro L. Iglesias-Rey	Año: 2021 Lugar: Bogotá, Colombia y Valencia, España	Título: Selección del diseño para una red de alcantarillado óptima según la topografía del	<ul style="list-style-type: none"> • Menor número de iteraciones para el diseño de la red de alcantarillado con cualquier tipo de topografía. • Eficiencia Computacional. • Diseños más óptimos, con una alta reducción en sus costos

		<p>terreno, la topología de la red de calles y las entradas</p> <p>Propuesta: Extensión del estudio de Duque et al. (2020) para la selección del trazado de redes de alcantarillado, usando los datos de: topografía del terreno, la topología de la red vial y los caudales de entrada</p>	
<p>Soroush Zamanian, Mehrzaad Rahimi, Abdollah Shafieezadeh</p>	<p>Año: 2020 Lugar: Ohio, Estados Unidos</p>	<p>Título: Resiliencia de las redes de alcantarillado ante riesgos climáticos extremos: experiencias pasadas y un marco de evaluación</p> <p>Propuesta: La resiliencia en las redes de alcantarillado es de importancia crítica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Debido al aumento en la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos el sistema de alcantarillado está sometido a un mayor desgaste. • Las alcantarillas son un "infraestructura crítica"; su fallo puede desencadenar fallos en otros sistemas. • Una red de alcantarillado debe mantener un nivel de servicio aceptable durante la crisis.

<p>Uditi Chaudhary, Tanisha Kumari, Sara Bamiri, B.R.G. Robert</p>	<p>Año: 2020 Lugar: India</p>	<p>Título: Diseño de alcantarillado sanitario por gravedad con el software Sewer GEMS Connect Edition para Utsav Vihar, Karala Propuesta: Realizar el modelado, diseño y análisis de una red de alcantarillado en Delhi, India usando SewerGEMS.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El uso de SewerGEMS permitió un diseño rápido y preciso del sistema de alcantarillado. • La división en cuencas y el uso de curvas IDF facilitaron la estimación de cargas y caudales. • El software notifica si hay errores en el diseño lo que permite su corrección.
<p>Takele Sambeto Bibi, Daniel Reddythta y Abdisa Sime Kebebew</p>	<p>Año: 2023 Lugar: Ciudad de Dodola, Etiopía</p>	<p>Título: Evaluación del rendimiento de los sistemas de drenaje en respuesta a escenarios futuros y medidas de mitigación de inundaciones utilizando el modelo de gestión de aguas pluviales (SWMM).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los sistemas de drenaje existentes son incapaces de gestionar los riesgos de inundación esperados causados por cambios leves en la intensidad de lluvia futura o la urbanización. • Como resultado del desarrollo urbano, al aumentar la proporción de impermeabilidad del 10% al 70%, la escorrentía máxima aumentó y el número de nodos inundados se triplicó. • La implementación de medidas de mitigación estructurales (LID) redujo significativamente la escorrentía y el volumen de inundación.

		<p>El estudio busca evaluar los impactos potenciales del cambio climático (usando tres modelos climáticos globales) y la urbanización continua (cambiando el porcentaje de impermeabilidad) sobre el sistema de drenaje pluvial. Además, propone simular la efectividad de estrategias de mitigación de Desarrollo de Bajo Impacto (LID), específicamente pavimentos permeables y celdas de bioretención.</p>	
<p>Grupo Intergubernamental de Expertos sobre</p>	<p>Año: 2021 Lugar: Ginebra, Suiza</p>	<p>Título: Cambio climático 2021 Propuesta: Evaluar científicamente el estado</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Es inequívoco que las actividades humanas han causado el calentamiento de la atmósfera, el océano y la tierra. • La frecuencia e intensidad de olas de calor, precipitaciones intensas, sequías y ciclones tropicales aumentara.

el Cambio Climático		actual del cambio climático, su origen y los impactos futuros	<ul style="list-style-type: none"> • Los fenómenos extremos como inundaciones se intensificarán.
Diana Chanena Granda Paladines	Año: 2024 Lugar: Machala	<p>Título: Evaluación de estimaciones satelitales de precipitación en la cuenca del Río Jubones.</p> <p>Propuesta: Evaluar la precisión y confiabilidad del producto satelital CHIRPS frente a observaciones pluviométricas in situ (estaciones meteorológicas) durante el periodo 1981-2014, analizando la variabilidad temporal y espacial de la precipitación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El producto CHIRPS demostró un desempeño general satisfactorio y confiable para la estimación de precipitación. • Se encontró que el mejor ajuste del satélite ocurre en zonas de altitud intermedia (800-2000 m s.n.m.). • En zonas de montaña alta, el satélite tiende a subestimar la precipitación. • En zonas bajas/costeras, existe una ligera tendencia a la sobreestimación.

3. CAPÍTULO 3: INFORMACION Y METODOLOGÍA

3.1 Descripción de la información

La aplicación de la metodología propuesta se basa en dos fuentes de datos principales: (i) información topográfica de alta resolución y (ii) registros históricos de precipitación.

3.1.1 Datos del terreno

La morfología del terreno para la zona de estudio se estableció utilizando datos extraídos de un Modelo Digital de Elevación (MDE) y una ortofoto del Distrito Metropolitano de Quito. Ambos conjuntos de datos fueron proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca del Ecuador (MAGAP)

El Modelo Digital de Elevación (MDE) posee una resolución espacial de 5 x 5 metros por píxel, mientras que la ortofoto presenta una resolución de mayor calidad, de 0.30 x 0.30 metros por píxel.

Estos modelos e imágenes son la base espacial para generar el trazado geométrico de la red de drenaje pluvial, permitiendo el trazado de la cuenca y estableciendo la dirección del flujo mediante la extracción de la altimetría de la zona (Véase figura 1)

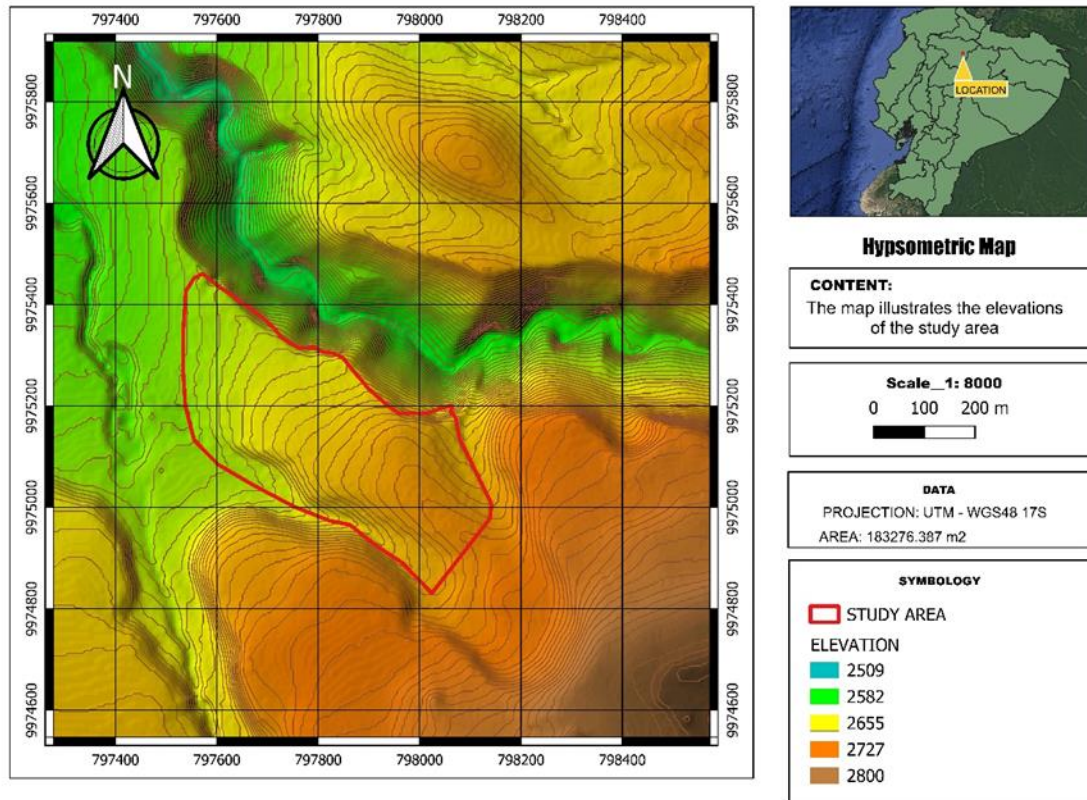


Figura 1 Mapa hipsométrico de la zona de estudio

3.1.2 Coeficiente de escorrentía C

El coeficiente de escorrentía se obtuvo del Ministerio de Agricultura y Ganadería Agrocalidad (MAGAP), dicha institución tiene un documento donde se detalla el uso del suelo a nivel nacional, posteriormente se correlaciona con tablas dadas en el apartado 5.4.2.2 y 5.4.2.3 del código CPE INEN 5 Parte 9-1:1992 y se realizara una ponderación entre el área en uso y el suelo natural.

3.1.3 Registros históricos de precipitación

Debido a la falta de estaciones meteorológicas en la zona de estudio, los datos de precipitación se obtuvieron de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) versión 2.0, una base de datos confiable cuasi-global de precipitación en cuadrícula, cubriendo

una franja latitudes que van desde 50°S a 50°N (Climate Hazards Center - UC Santa Barbara, 2025.; Funk et al., 2015; López-Bermeo et al., 2022).

CHIRPS permite obtener datos de precipitación máxima diaria desde 1981 hasta la actualidad (Climate Hazards Center - UC Santa Barbara, 2025.); mediante la fusión de imágenes satelitales de alta resolución espacial (0.05° ~5 km) en sus imágenes satelitales con datos observados de estaciones pluviométricas terrestres in situ (Funk et al., 2015; López-Bermeo et al., 2022).

Los datos utilizados para este proyecto abarcan desde el 1 de enero de 1981 (01/01/1981) hasta el 30 de septiembre de 2025 (30/09/2025), contando con una serie temporal de 44 años de registros de precipitación máxima diaria equivalente a 3901 datos en total, excluyendo los valores iguales a 0.

3.2 Modelo Probabilístico (Distribución de Gumbel)

En este estudio se empleará la distribución de probabilidad acumulada mediante el método de Gumbel o también conocido como distribución de tipo I de Gumbel para realizar la distribución de valores extremos, pues se ajusta muy bien para la intensidad máxima de precipitaciones y se representa mediante Ecuación 1 (Chow et al., 1994).

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{xT-\mu}{\alpha}}} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde “ α ” es el parámetro de escala o dispersión de la distribución y “ μ ” constituye el parámetro de ubicación (o localización), cuyos valores dependen de parámetros estadísticos (Desviación estándar y promedio).

3.3 Desarrollo de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

Puesto que los datos obtenidos de CHIRPS son las intensidades máximas diarias, es necesario realizar una transformación a intervalos de menor duración (minutos). Para ello se utilizaron

los coeficientes de conversión establecidos por Campos Aranda (2010), los cuales permiten derivar las intensidades correspondientes a eventos de corta duración a partir de los registros de 24 horas disponibles, es decir, permite una transformación diaria a horaria.

Una vez determinada la precipitación para las distintas duraciones, se obtienen las intensidades correspondientes haciendo uso de la Ecuación 2.

$$I = \frac{P}{t} \quad \text{Ec.2}$$

Donde P, Precipitación máxima de las lluvias en milímetros (mm) y t el tiempo de duración de la lluvia en horas (hr), generando una tabla de intensidades. Para ajustar y obtener la ecuación de tipo (Ecuación 3) para la zona de estudio se utilizó la Metodología de Regresión múltiple para ajustar los datos a una familia de curvas.

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad \text{Ec.3}$$

Siendo I, intensidad máxima en mm/h, T el Periodo de retorno en años y t es la duración de la lluvia en minutos.

Variables K, m, n: son constantes de ajuste propias de la estación.

3.4 Curvas IDF propuestas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

A diferencia de la base de datos CHIRPS, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en cambio se basa en datos recopilados mediante estaciones pluviográficas las cuales mediante fajas pluviográficas registran las precipitaciones durante todo el año (INAMHI, 2019).

Aunque no se cuente con un pluviógrafo exactamente en el área de estudio, INAMHI, menciona que cada estación tiene un área de acción para el cual es válido el uso de datos de dicho equipo. (Véase figura 2)

3.4.1 Estación

La estación pluviográfica del INAMHI más cercana a la zona de análisis tiene nombre de: LA TOLA y tiene las siguientes características.

Tabla 2 Datos de la estación LA TOLA

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Seria de datos	Nº años
M0002	LA TOLA	793125.64	9974612.5	2480	1980-2010	31

(Fuente: INAMHI 2019).

Dicha estación se encuentra a alrededor de 4600 metros de la zona de estudio aproximadamente. INAMHI (2019) recomienda usar las ecuaciones IDF cuya estación tenga un radio de acción menor a 10 kilómetros, ubicándose nuestra zona de estudio dentro del radio de acción recomendable (Véase figura 2), por tanto, sería valido utilizar dichas ecuaciones para nuestro diseño.

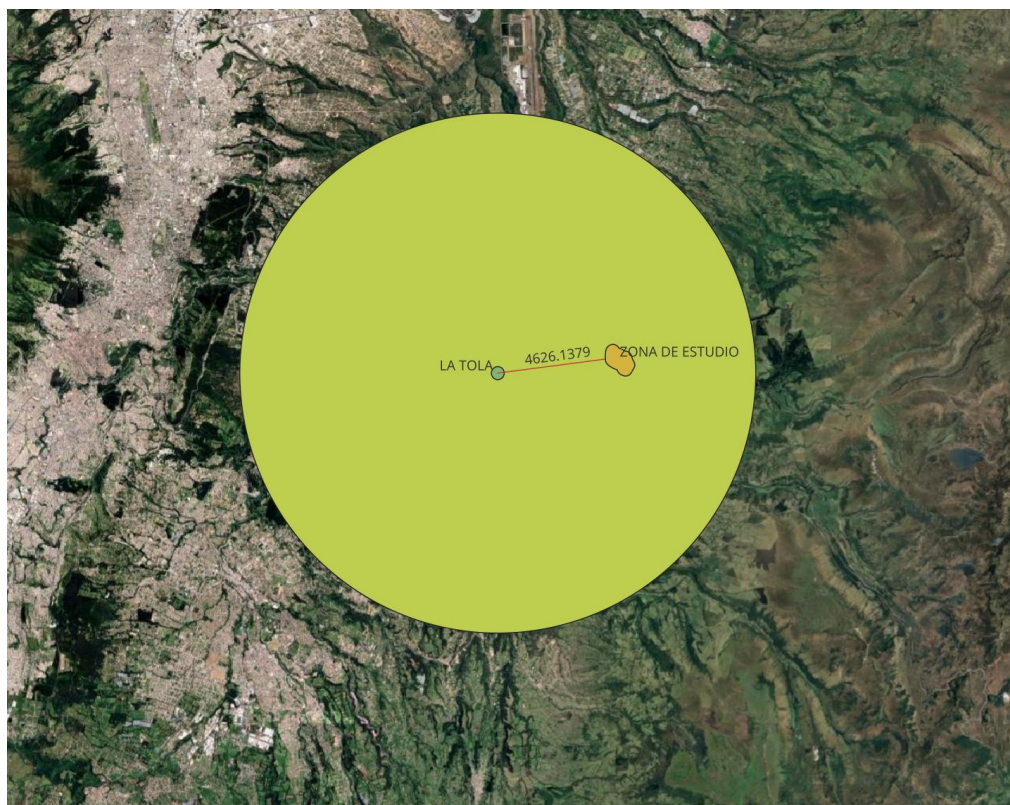


Figura 2. Radio de acción de la estación La Tola

3.4.2 Ecuaciones de intensidad máxima

INAMHI proporciona directamente las ecuaciones de intensidad en función de la estación pluviográfica. La siguiente tabla muestra dichas ecuaciones pertenecientes a la estación LA TOLA

Tabla 3 Tabla de ecuaciones de intensidad máxima correspondientes a la estación LA TOLA

Estación		Intervalos de tiempo en minutos	Ecuaciones	R	R ²
Código	Nombre				
		5 <20	$i = 106.539 * T^{0.2310} * t^{-0.2386}$	0.9836	0.9675
		20 <120	$i = 433.713 * T^{0.1955} * t^{-0.6909}$	0.9891	0.9783
		120 <1440	$i = 1433.657 * T^{0.1832} * t^{-0.9382}$	0.9987	0.9974

(Fuente: INAMHI 2019).

Tal como se establece en la tabla 3, los registros oficiales del INAMHI abarcan el periodo histórico comprendido entre 1980 y 2010. En contraste, la base de datos satelital CHIRPS ofrece información actualizada hasta la fecha presente, lo que permite ampliar significativamente la ventana de análisis temporal. En consecuencia, se procederá a realizar un estudio comparativo de las variables físicas e hidráulicas resultantes de ambas fuentes de información, con el fin de evaluar la incidencia de la actualización de datos en el diseño final.

3.5 Método Racional para el cálculo de caudales de diseño

El método racional es una metodología que nos permite obtener caudales máximos que es ampliamente utilizado y recomendado en normativas y códigos, siendo el caso del código ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, las normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q emitido La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) en 2009 o también en normativa colombiana más específicamente en la Reglamentación Unificada a las Resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021.

El método racional se calcula mediante la ecuación 4:

$$Q = \frac{C * I * A}{3.6} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de lluvia

A: Área de la cuenca (Km²)

Este método está basado en los siguientes supuestos:

- La precipitación es uniforme y constante en toda el área de la cuenca.
- La escorrentía es directamente proporcional a la precipitación.
- La duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración.
- El coeficiente de escorrentía es constante en el tiempo.

Este método, es susceptible a mostrar inconsistencias si el área de la cuenca es muy grande, tomando en cuenta que este es un método conservador, se puede generar una sobreestimación del caudal; por tanto, como se menciona en el código ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, se deben trabajar en áreas menores a 5 kilómetros cuadrados, lo cual es nuestro caso.

3.6 Parámetros mínimos de diseño

El instituto ecuatoriano de normalización INEN, en 1992 publico un código de la construcción en donde se establecen normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales, específicamente en el código CPE INEN 5 Parte 9-1:1992, se establecen los siguientes criterios referente a alcantarillado pluvial:

- Velocidad mínima de 0.9 m/s para caudal máximo en cualquier época del año.
- Una velocidad máxima a tuvo lleno de 4.5 m/s para tuberías de plástico.

- En tuberías que soporten tráfico vehicular, el relleno minio es de 1.2 m sobre la clave del tubo.

La normativa más reciente emitida por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable en 2009, tiene los siguientes parámetros de diseño:

- Una profundidad mínima a la clave de la tubería igual a 1.5 metros tanto en vías peatonales como en vías vehiculares.
- Velocidad mínima igual a 0.6 m/s.
- Velocidad máxima para tubería de PVC igual a 7.5 m/s.
- Pendiente mínima de 0.5%.
- Diámetro mínimo igual a 300 mm para tramos iniciales.
- Profundidad hidráulica máxima de 85%.

Por otro lado, también se indago en normativa extranjera, como la establecida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico emitido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y territorio de Colombia, específicamente de la Reglamentación Unificada a las Resoluciones 330 de 2017 y 799 de 2021, anexo 2 en donde nos dan los siguientes parámetros:

- La profundidad mínima para alcantarillado es de 1.20 m en vías vehiculares y 0.75 en vías peatonales medida desde la corona de la tubería.
- El diámetro interno real mínimo es de 260 mm.
- La velocidad mínima es aquella que genere un esfuerzo cortante en la pared de la tubería mínimo de 2.0 Pa.
- La velocidad máxima por gravedad es de 5 m/s.

- Para el caso de topografía complicada, es decir pendientes mayores al 30% o colectores de gran tamaño (mayores a 600mm) pueden superar los 5 m/s pero no puede superar los 10 m/s
- Las estructuras de conexión deben en puntos críticos de la red como:
 - Al inicio de la red.
 - En cada cambio de dirección del flujo.
 - En cada cambio de diámetro, material y/o pendiente del colector.
 - Deben ubicarse a una distancia entre si menor a 120 metros para tramos con aportes de caudal y 300 m en interceptores y emisarios finales sin aportes de caudal.

Por otro lado, CONAGUA (2019), menciona parámetros más laxos como:

- Diámetro mínimo 200 mm, con una pendiente mínima de 2m/km.
- La profundidad mínima es de 0.90 m para tubería de PVC.

Parámetros de diseño finales

Fue necesario la investigación en normativa extranjera debido a la antigüedad de la normativa local, al final los parámetros de diseño y los utilizados en la modelación son:

- Velocidad mínima de 0.6 m/s
- Velocidad máxima de 7.5 m/s.
- Pendiente mínima de 0.5 %.
- Se limitó la pendiente máxima para diseño a 8% debido a las pronunciadas pendientes y la velocidad excesiva que se generaba.
- Diámetro mínimo de 300 mm para tramos iniciales.

- Profundidad mínima a la corona de la tubería igual a 1.5 m.
- Profundidad máxima la corona de la tubería igual a 1.5 m.
- Profundidad hidráulica máxima de 85%.

3.7 Simulación en SewerGems

El proceso de modelación inicia con la definición geométrica de la red en el Sistema de Información Geográfica QGIS, donde se establece la ubicación espacial de los pozos de revisión, colectores y la estructura de descarga. Posteriormente, esta topología es importada al entorno de SewerGEMS, donde se integran los parámetros de diseño y se asignan las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) correspondientes a los escenarios satelital y del INAMHI.

Para la simulación hidráulica, se seleccionó el motor de cálculo GVF-Rational (StormCAD), el cual implementa el Método Racional. La estrategia de cálculo contempla una primera iteración la calculadora de “Diseño” para el dimensionamiento automatizado, seguida de una validación la calculadora de “Análisis”, fase que permite verificar el cumplimiento normativo y ajustar manualmente los parámetros en aquellos tramos que presenten insuficiencia hidráulica.

3.8 Validación de datos mediante una memoria de cálculo en Excel

Con el objetivo de garantizar la fiabilidad de los resultados, se desarrolló una memoria de cálculo automatizada en hojas de cálculo (Excel) que integra los parámetros normativos de diseño y las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) del área de estudio propias y las proporcionadas por el INAMHI. Esta herramienta permitió realizar una validación cruzada de la modelación, corroborando la consistencia de los caudales y variables hidráulicas obtenidos mediante el software SewerGEMS.

4. RESULTADOS

4.1 Curvas IDF

4.1.1 Ecuación de Intensidad calculada

El modelamiento probabilístico de los eventos extremos basado en la distribución de Gumbel (Valor Extremo Tipo I), aplicada a la serie de precipitación máxima de 24 horas. El cálculo de parámetros mediante el Método de los Momentos arrojó valores de 50.33 mm para la ubicación y 7.93 mm para la escala. Esto fundamentó la estimación de precipitaciones de diseño para periodos de retorno de 2 a 500 años, garantizando la robustez del análisis en un contexto de datos limitados.

Posteriormente, se formuló una ecuación IDF basada en la intensidad a través de una regresión, mencionado en el apartado 3.2, dándonos como resultado la ecuación 5

$$I = \frac{204.0392 * T_r^{0.118982}}{t^{0.61885}} \quad \text{Ec. 5}$$

4.1.2 Gráfica de las curvas IDF

Las curvas IDF resultantes mostradas en la Figura 4 muestran un comportamiento esperado, al decrecer el valor de intensidad al aumentar el tiempo de duración de la tormenta. Estas curvas fueron la base para determinar las tormentas de diseño mediante hietogramas contruidos con la metodología de bloques alternos.

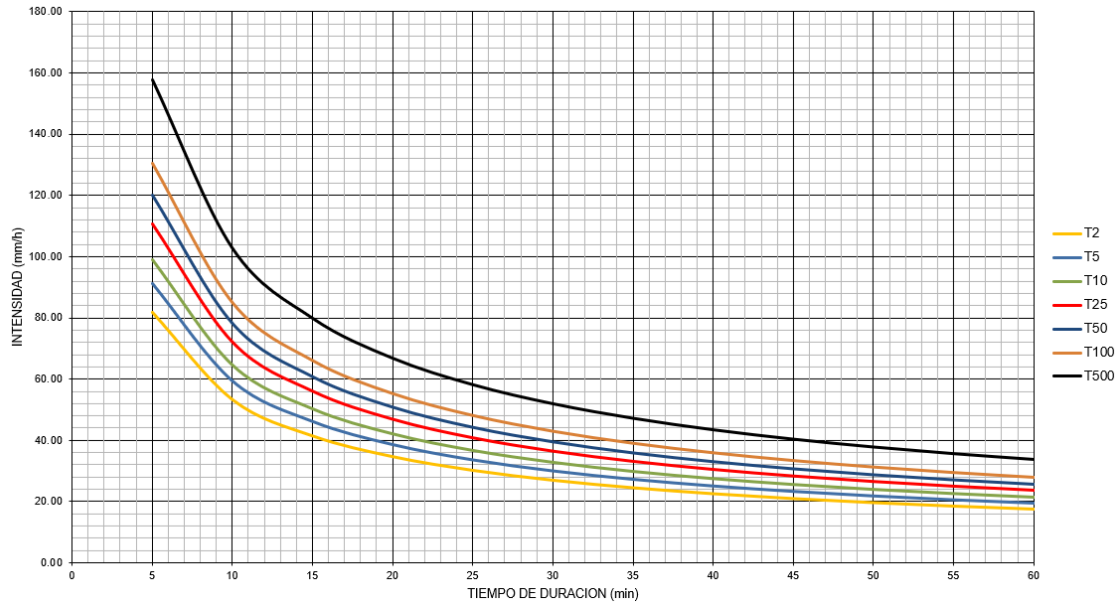


Figura 3 Curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) para la cuenca de estudio, derivadas de 44 años de datos de precipitación CHIRPS (1981-2025) utilizando la distribución de Gumbel (valor extremo tipo I) y los factores de reducción de duración de Campos Aranda (2010).

4.2 Trazado de la red de alcantarillado

Como se muestra en el Figura 1, el terreno presenta pendientes pronunciadas por tanto se optó por un trazado con pozos separados aproximadamente 50 metros en la mayoría de sus tramos con un conteo final de 32 pozos e igual número de conductos.

Como se menciona en las Normas de diseño de sistemas de alcantarillado EMAAP-Q-2009 para estimar el valor de lluvias en el área se optó por usar el Método de polígonos de Thiessen y saber el área de aporte para cada pozo. El trazado final se lo representa en la figura 5 mismo que fue empleado en las hojas de cálculo e importado en el programa Sewergems.

Inicialmente se optó por un diseño cuyos pozos están espaciados cada 100 metros en la mayoría de los tramos, sin embargo, debido a que los tramos comprendidos entre los pozos 5 al 15 (Véase figura 5), presentaron problemas de altas velocidades producto de las pendientes elevadas que van desde los 14% a 18%, por tanto, se optó por reducir dicha distancia a 50 metros únicamente. El mismo problema, aunque en menor medida, se detectó en los tramos

intermedios que van desde el pozo 19 al 18, especialmente en los conductos CO-24 Y CO-25, cuyos pozos comprende 25 al 26 y del 26 al 18 con pendientes de 20% y 16% respectivamente.

Para la definición del trazado geométrico, se estableció inicialmente un espaciamiento longitudinal de 100 metros entre pozos de revisión. No obstante, la presencia de pendientes pronunciadas en el rango del 14% al 18% entre los pozos 5 y 15 (véase Figura 5) ocasionó regímenes de velocidad superiores a los admisibles. Por tal motivo, se ajustó la distancia entre pozos a 50 metros en dicha zona para controlar el flujo favoreciendo la disipación de energía.

Esta problemática también se identificó en el sector intermedio (hacia la descarga del pozo 18), afectando especialmente a los colectores CO-24 (tramo 25-26) y CO-25 (tramo 26-18), los cuales presentan pendientes del 20% y 16%, respectivamente.

A partir del trazado base, se procedió a simular los diferentes periodos de retorno variando exclusivamente la tormenta de diseño. Sin embargo, para cumplir con los criterios normativos ante las nuevas cargas hidráulicas, se realizaron ajustes sustanciales en la sección de los colectores mediante la calculadora de “ANALISIS”, modificando los diámetros según fue requerido.

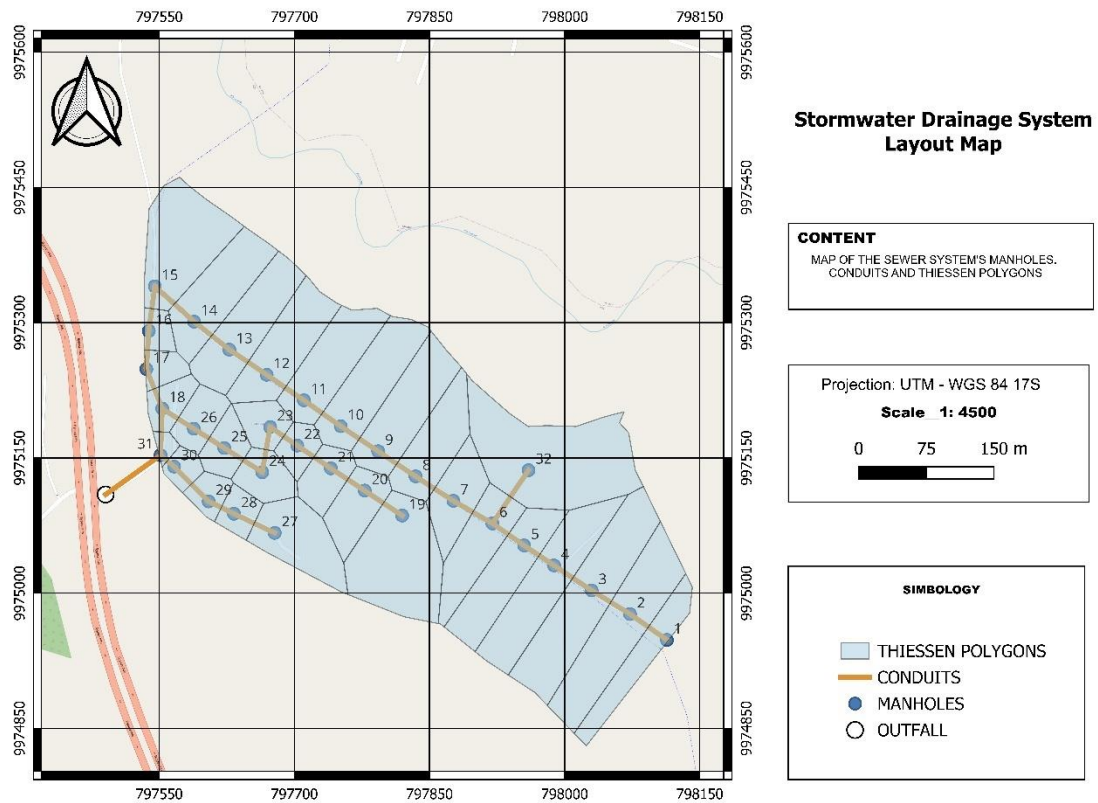


Figura 4 Mapa del trazado de la red de alcantarillado pluvial, con los conductos, pozos de revisión y polígonos de Thiessen

Para el estudio de la vulnerabilidad se estableció una matriz de escenarios cruzados donde cada diseño base fue sometido a cargas hidráulicas superiores a las de su dimensionamiento original. Específicamente, la infraestructura diseñada para $Tr = 5$ años se evaluó frente a eventos de 10, 25, 50 y 100 años. De manera análoga, el diseño de $Tr = 10$ años fue estresado con tormentas de 25, 50 y 100 años, replicando este procedimiento escalonado para el resto de los periodos de retorno analizados.

4.3 Resultados Simulación

En la tabla 8 se detalla un resumen de los parámetros físicos e hidráulicos de las simulaciones realizadas en el programa SewerGems para los diferentes periodos de retorno (5, 10, 25, 50, 100). En esta, se observa la pendiente (S), diámetros (D), velocidad (V), caudal (Q) y la relación de Caudal sobre capacidad (F/C) en los diferentes tramos de la tubería.

Cabe mencionar que la tabla no contiene todos los parámetros obtenidos en el diseño sin embargo si los principales. Parámetros como el tirante relativo del agua (y/D), se verifico que no sobrepase el 85% dado en la normativa en cada uno de los tramos siendo su máximo valor de 81.8 % obtenido en el CO-22 para un periodo de retorno de 25 años.

El desempeño hidráulico del sistema se evalúa de mejor manera a través de la relación flujo-capacidad (Caudal / Capacidad de Diseño (%)), la cual cuantifica la utilización de la capacidad de flujo lleno de cada conducto.

La tabla 8 muestra que el diseño no es estático; los diámetros nominales se incrementan conforme aumenta el periodo de retorno. Por ejemplo, el tramo CO-1 pasa de 335 mm (Tr=5) a 400 mm (Tr=25) para manejar el incremento de caudal.

Los conductos CO-2 a CO-6, muestran relaciones flujo-capacidad que superan el 70% incluso bajo eventos de 10 años (por ejemplo, CO-2: 73.7% a 10 años; 89.3% a 50 años). Esto sugiere que el dimensionamiento inicial del tramo superior del colector principal puede ser insuficiente para intensidades de lluvia moderadas.

En los tramos intermedios se observa que el sistema funciona con relaciones F/C altas desde el inicio de su operación, tramos como el CO-15, CO-16, CO-17 parten con un valor de 93%, el cual disminuye con el aumento del diámetro, sin embargo, su valor se mantiene por encima del 70%, presentando un valor de 73.8% para los conductos CO-15 y CO-16, mientras que CO-17 tiene un valor de 98.1%, en el escenario extremo (Tr=100 años).

En los tramos finales, el CO-30 y CO-31 siendo el primero un conducto de conexión y a pesar del aumento del diámetro, ambos conductos presentan relaciones flujo-capacidad superiores al 80% en periodos de retorno cortos y este valor aumenta hasta superar el 90% en Tr=100 años.

La velocidad de flujo en los tramos iniciales es alta, en los conductos 5 a 14 este comportamiento llega a ser notable en periodos de retorno altos, llegando a superar los 8 m/s en Tr=100.

Tabla 4 Tabla resumen de las propiedades físicas e hidráulicas del diseño de alcantarillado mediante la ecuación de intensidad propia.

Tramo	Tr = 5 años					Tr = 10 años					Tr = 25 años					Tr = 50 años					Tr = 100 años				
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)
CO-1	0.055	335	2.94	41.8	15.6	0.055	335	3.01	45.39	16.9	0.055	400	3.05	50.62	11.6	0.055	400	3.13	54.97	12.6	0.055	400	3.2	59.7	13.7
CO-2	0.011	400	2.21	132.43	67.8	0.011	400	2.26	143.86	73.7	0.011	400	2.31	160.45	82.2	0.011	400	2.34	174.29	89.3	0.011	440	2.42	189.33	73.2
CO-3	0.042	400	4.23	231.52	60.4	0.042	400	4.31	251.56	65.6	0.042	440	4.44	280.67	55.3	0.042	440	4.53	304.95	60.1	0.042	440	4.62	331.39	65.3
CO-4	0.08	400	5.77	307.6	58.3	0.08	400	5.89	334.27	63.4	0.08	440	6.06	373.03	53.4	0.08	440	6.18	405.35	58.1	0.08	440	6.31	440.55	63.1
CO-5	0.08	400	6.01	365.35	69.3	0.08	400	6.12	397.07	75.3	0.08	440	6.32	443.16	63.5	0.08	440	6.44	481.6	69	0.08	540	6.58	523.46	41.3
CO-6	0.077	540	6.56	543.11	43.6	0.077	540	6.7	590.3	47.4	0.077	540	6.89	658.91	52.9	0.077	540	7.04	716.12	57.5	0.077	540	7.19	778.44	62.5
CO-7	0.075	540	6.6	578.44	47.1	0.075	540	6.75	628.76	51.2	0.075	540	6.93	701.93	57.1	0.075	540	7.08	762.95	62.1	0.075	540	7.22	829.41	67.5
CO-8	0.072	540	6.61	625.16	52.1	0.076	540	6.9	679.62	55.1	0.072	540	6.94	758.8	63.3	0.072	540	7.07	824.83	68.8	0.072	650	7.23	896.75	46
CO-9	0.077	540	6.95	684.44	55.1	0.073	650	6.94	744.19	37.7	0.072	650	7.1	830.91	42.5	0.072	650	7.25	903.29	46.2	0.072	650	7.41	982.13	50.3
CO10	0.08	540	7.19	743.42	58.7	0.079	650	7.3	808.32	39.4	0.079	650	7.52	902.59	44	0.079	650	7.68	981.29	47.8	0.079	650	7.85	1067.04	52
CO-11	0.072	540	7.04	796.83	66.1	0.072	650	7.19	866.44	44.2	0.072	650	7.4	967.59	49.4	0.072	650	7.56	1,052.05	53.7	0.072	650	7.72	1144.07	58.4

CO-12	0.076	540	7.3	850.72	68.7	0.076	650	7.46	925.12	46	0.076	650	7.68	1033.24	51.3	0.076	650	7.84	1,123.52	55.8	0.076	650	8.01	1221.88	60.7
CO-13	0.074	650	7.34	907.76	45.8	0.074	650	7.51	987.22	49.8	0.074	650	7.72	1102.72	55.6	0.074	650	7.88	1,199.16	60.5	0.074	760	8.03	1304.24	43.6
CO-14	0.072	650	7.36	962.54	49.4	0.072	650	7.52	1,046.88	53.7	0.072	650	7.73	1169.47	60	0.072	650	7.88	1,271.84	65.3	0.072	760	8.05	1383.38	47.1
CO-15	0.005	875	2.71	1031.29	93	0.005	975	2.81	1,121.75	73.9	0.005	975	2.87	1253.26	82.6	0.005	975	2.92	1,363.07	89.8	0.005	1035	3.01	1482.73	73.8
CO-16	0.005	875	2.71	1030.82	93	0.005	975	2.81	1,121.62	73.9	0.005	975	2.87	1253.37	82.6	0.005	975	2.92	1,363.38	89.8	0.005	1035	3.01	1483.49	73.8
CO-17	0.005	875	2.71	1033.83	93.3	0.005	975	2.81	1,125.20	74.1	0.005	975	2.88	1257.6	82.9	0.005	975	2.92	1,368.12	90.2	0.005	975	2.96	1489	98.1
CO-18	0.08	335	4.25	1276.34	29	0.08	335	4.34	1,389.56	31.5	0.08	335	4.47	1553.35	35.1	0.08	335	4.57	1,690.07	38.1	0.08	335	4.68	1839.56	41.4
CO-19	0.076	335	4.53	93.96	40.4	0.076	335	4.63	102.04	43.9	0.076	335	4.76	113.79	48.9	0.076	335	4.87	123.58	53.2	0.076	335	4.97	134.2	57.7
CO-20	0.069	335	4.59	127.69	50.6	0.069	335	4.69	138.7	55	0.069	335	4.82	154.71	61.3	0.069	335	4.91	168.04	66.6	0.069	335	5	182.52	72.4
CO-21	0.08	335	4.96	152.75	52	0.08	335	5.07	165.93	56.5	0.08	400	5.19	185.12	38.7	0.08	335	5.31	201.1	68.4	0.08	335	5.41	218.45	74.4
CO-22	0.017	400	2.87	168.5	76.3	0.017	400	2.92	183.06	82.9	0.017	400	2.98	204.27	92.5	0.017	440	3.07	221.93	75.9	0.017	440	3.13	241.1	82.5
CO-23	0.066	400	4.87	188.06	43.8	0.066	400	4.98	204.34	47.6	0.066	400	5.13	228.03	53.1	0.066	440	5.22	247.77	43.6	0.066	440	5.34	269.2	47.4
CO-24	0.075	400	5.24	210.01	45.1	0.075	400	5.35	228.23	49	0.075	400	5.51	254.75	54.7	0.075	440	5.61	276.89	44.9	0.075	440	5.74	300.89	48.8
CO-25	0.08	400	5.49	230.38	47.8	0.08	400	5.61	250.41	51.9	0.08	400	5.76	279.55	58	0.08	440	5.88	303.88	47.6	0.08	440	6.01	330.27	51.7
CO-26	0.079	335	3.61	251.94	16.6	0.079	335	3.69	273.87	18	0.079	335	3.81	305.78	20	0.079	335	3.9	332.42	21.8	0.079	335	3.99	361.31	23.6
CO-27	0.07	335	3.7	53.41	22.7	0.07	335	3.78	58	24.6	0.07	335	3.9	64.68	27.5	0.07	335	3.99	70.25	29.8	0.07	335	4.08	76.29	32.4
CO-28	0.07	335	3.89	68.49	27.3	0.07	335	3.98	74.39	29.6	0.07	335	4.11	82.99	33.1	0.07	335	4.2	90.14	35.9	0.07	335	4.29	97.91	39
CO-29	0.06	335	3.82	82.45	33.2	0.06	335	3.91	89.57	36	0.06	335	4.03	99.93	40.2	0.06	335	4.11	108.56	43.7	0.06	335	4.21	117.93	47.5
CO-30	0.005	975	2.88	93.21	84.1	0.005	975	2.93	101.28	91.6	0.005	1035	3.04	113.03	77.3	0.005	1035	3.09	122.81	84.1	0.005	1035	3.14	133.43	91.5
CO-31	0.005	975	2.91	1352.5	89.1	0.005	975	2.95	1,472.64	97	0.005	1035	3.08	1646.78	81.9	0.005	1035	3.13	1,791.97	89.2	0.005	1035	3.17	1950.68	97.1
CO-32	0.018	335	2.65	136.87	89.4	0.018	400	2.74	148.63	59.7	0.018	400	2.81	165.75	66.6	0.018	400	2.86	180.01	72.3	0.018	400	2.92	195.48	78.5

4.4 Porcentaje de variabilidad de las variables físicas e hidráulicas de la red para todos los periodos de diseño

Para observar la sensibilidad del sistema pluvial al aumento de la intensidad de lluvia, se determinó la variación porcentual de las variables físicas e hidráulicas (Pendiente, Diámetro, Velocidad, Caudal y relación Flujo/Capacidad). Siendo la línea base el periodo de retorno de 5 años, permitiéndonos conocer la sensibilidad y vulnerabilidad de la infraestructura, dando como resultado la siguiente tabla 9.

La pendiente es el parámetro que menos se ve afectado al cambiar la tormenta de diseño, pues en su mayoría se tiene variaciones de 0%, viéndose afectado únicamente los conductos CO-9 y CO-10 en todos los diseños, mientras que CO-8 únicamente incrementa el valor de este parámetro para el en el diseño de TR =10 años.

Se observa una correlación positiva entre el periodo de retorno y el caudal transportado en todos los tramos de la red. El sistema presenta una sensibilidad sistemática al aumento de la precipitación: Para el escenario de 10 años, el caudal incrementa en promedio un 8.7% respecto a la línea base. Esta variación asciende al 32% para los 50 años. Finalmente, ante el evento extremo de 100 años, la red debe gestionar un volumen de escorrentía superior al 43% en comparación con el diseño inicial (Tr=5). Esto confirma que la carga hidráulica escala de manera predecible y uniforme en toda la cuenca.

El diámetro no varía uniformemente. Se identifican grupos críticos que requirieron un aumento de sección transversal significativo para evitar la falla. Por ejemplo, los tramos CO-9 a CO-12 presentan un incremento de sección del 20.37%, y los tramos CO-32 del 19.40%.

La velocidad del flujo muestra una sensibilidad moderada, amortiguada por los incrementos de la sección transversal. Las variaciones oscilan entre un 2% para eventos frecuentes y un máximo del 11% para el escenario de 100 años. Aunque este incremento es contenido, resulta significativo teniendo en cuenta que ya se trabajaba con velocidades límite en TR= 5 años.

Los tramos intermedios CO-15, CO-16, CO-17 para soportar el primer incremento de caudal (+8.8%), el diseño se ve obligado a aumentar la sección un +11.4%, pasando de 875 mm a 975 mm. Este cambio es vital; sin él, la tubería de 875 mm colapsaría (presurización) ante la lluvia de 10 años.

Para el evento extremo (Tr=100), la red principal rompe su uniformidad. Los tramos CO-15, CO-16 aumentan su diámetro en un 18.29% para ganar holgura, otros componentes como el CO-17) limitan su expansión al 11.43% es decir, no aumenta su diámetro. Esta disparidad indica que el diseño optimiza la inversión, permitiendo que los tramos finales trabajen al límite de su capacidad física sin aumentar innecesariamente su calibre.

Tabla 5 Tabla del porcentaje de variación de parámetros físicos e hidráulicos en función del periodo de retorno de 5 años

Tramo	Variación de Pendiente (%)				Variación de Diámetro (%)				Variación de Velocidad (%)				Variación de Caudal (%)				Variación de Flujo/Capacidad (%)			
	Tr = 5 vs Tr = =10	Tr = 5 vs Tr = 25	Tr = 5 vs Tr = 50	Tr = 5 vs Tr = = 100	Tr =5 vs Tr =10	Tr =5 vs Tr = 25	Tr =5 vs Tr = 50	Tr =5 vs Tr =100	Tr =5 vs Tr =10	Tr =5 vs Tr =25	Tr =5 vs Tr = 50	Tr =5 vs Tr =100	Tr =5 vs Tr =10	Tr =5 vs Tr =25	Tr =5 vs Tr = 50	Tr =5 vs Tr =100	Tr =5 vs Tr =10	Tr =5 vs Tr =25	Tr =5 vs Tr = 50	Tr =5 vs Tr =100
CO-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.40	19.40	19.40	2.38	3.74	6.46	8.84	8.59	21.10	31.51	42.82	8.33	-25.64	-19.23	-12.18
CO-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	2.26	4.52	5.88	9.50	8.63	21.16	31.61	42.97	8.70	21.24	31.71	7.96
CO-3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	1.89	4.96	7.09	9.22	8.66	21.23	31.72	43.14	8.61	-8.44	-0.50	8.11
CO-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	10.00	2.08	5.03	7.11	9.36	8.67	21.27	31.78	43.22	8.75	-8.40	-0.34	8.23
CO-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	35.00	1.83	5.16	7.15	9.48	8.68	21.30	31.82	43.28	8.66	-8.37	-0.43	-40.40
CO-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	5.03	7.32	9.60	8.69	21.32	31.86	43.33	8.72	21.33	31.88	43.35
CO-7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.27	5.00	7.27	9.39	8.70	21.35	31.90	43.39	8.70	21.23	31.85	43.31
CO-8	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.37	4.39	4.99	6.96	9.38	8.71	21.38	31.94	43.44	5.76	21.50	32.05	-11.71
CO-9	-5.19	-6.49	-6.49	-6.49	20.37	20.37	20.37	20.37	-0.14	2.16	4.32	6.62	8.73	21.40	31.98	43.49	-31.58	-22.87	-16.15	-8.71
CO10	-1.25	-1.25	-1.25	-1.25	20.37	20.37	20.37	20.37	1.53	4.59	6.82	9.18	8.73	21.41	32.00	43.53	-32.88	-25.04	-18.57	-11.41
CO-11	0.00	0.00	0.00	0.00	20.37	20.37	20.37	20.37	2.13	5.11	7.39	9.66	8.74	21.43	32.03	43.58	-33.13	-25.26	-18.76	-11.65

CO-12	0.00	0.00	0.00	0.00	20.37	20.37	20.37	20.37	2.19	5.21	7.40	9.73	8.75	21.45	32.07	43.63	-33.04	-25.33	-18.78	-11.64
CO-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.92	2.32	5.18	7.36	9.40	8.75	21.48	32.10	43.68	8.73	21.40	32.10	-4.80
CO-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.92	2.17	5.03	7.07	9.38	8.76	21.50	32.13	43.72	8.70	21.46	32.19	-4.66
CO-15	0.00	0.00	0.00	0.00	11.43	11.43	11.43	18.29	3.69	5.90	7.75	11.07	8.77	21.52	32.17	43.77	-20.54	-11.18	-3.44	-20.65
CO-16	0.00	0.00	0.00	0.00	11.43	11.43	11.43	18.29	3.69	5.90	7.75	11.07	8.81	21.59	32.26	43.91	-20.54	-11.18	-3.44	-20.65
CO-17	0.00	0.00	0.00	0.00	11.43	11.43	11.43	11.43	3.69	6.27	7.75	9.23	8.84	21.64	32.34	44.03	-20.58	-11.15	-3.32	5.14
CO-18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12	5.18	7.53	10.12	8.87	21.70	32.42	44.13	8.62	21.03	31.38	42.76
CO-19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.21	5.08	7.51	9.71	8.60	21.10	31.52	42.83	8.66	21.04	31.68	42.82
CO-20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.18	5.01	6.97	8.93	8.62	21.16	31.60	42.94	8.70	21.15	31.62	43.08
CO-21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.40	0.00	0.00	2.22	4.64	7.06	9.07	8.63	21.19	31.65	43.01	8.65	-25.58	31.54	43.08
CO-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	1.74	3.83	6.97	9.06	8.64	21.23	31.71	43.09	8.65	21.23	-0.52	8.13
CO-23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	2.26	5.34	7.19	9.65	8.66	21.25	31.75	43.15	8.68	21.23	-0.46	8.22
CO-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	2.10	5.15	7.06	9.54	8.68	21.30	31.85	43.27	8.65	21.29	-0.44	8.20
CO-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	2.19	4.92	7.10	9.47	8.69	21.34	31.90	43.36	8.58	21.34	-0.42	8.16
CO-26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.22	5.54	8.03	10.53	8.70	21.37	31.94	43.41	8.43	20.48	31.33	42.17
CO-27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16	5.41	7.84	10.27	8.59	21.10	31.53	42.84	8.37	21.15	31.28	42.73
CO-28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.31	5.66	7.97	10.28	8.61	21.17	31.61	42.96	8.42	21.25	31.50	42.86
CO-29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36	5.50	7.59	10.21	8.64	21.20	31.67	43.03	8.43	21.08	31.63	43.07
CO-30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.15	6.15	6.15	1.74	5.56	7.29	9.03	8.66	21.26	31.76	43.15	8.92	-8.09	0.00	8.80
CO-31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.15	6.15	6.15	1.37	5.84	7.56	8.93	8.88	21.76	32.49	44.23	8.87	-8.08	0.11	8.98
CO-32	0.00	0.00	0.00	0.00	19.40	19.40	19.40	19.40	3.40	6.04	7.92	10.19	8.59	21.10	31.52	42.82	-33.22	-25.50	-19.13	-12.19

4.5 Comparación de los parámetros físicos e hidráulicos en los resultados de diseño usando datos de precipitación satelital (CHIRPS) y de pluviografos locales cercanos (INAMHI)

4.5.1 Periodo de retorno de 5 años.

Se realiza la comparación de los diseños pulidos de ambos escenarios, el diseño obtenido mediante la ecuación IDF propia y la dada por el

INAMHI para un periodo de retorno de 5 años. De igual manera se tiene la variación de los parámetros físicos e hidráulicos entre ambos diseños.

La comparación de los parámetros de diseño revela que la metodología normativa (INAMHI) impone solicitaciones hidráulicas considerablemente más severas que el modelo actualizado (Propia/CHIRPS), lo que se traduce en el diseño bajo un factor de seguridad mayor o un sobredimensionamiento de la infraestructura.

Se evidencia un incremento sistemático y significativo en los caudales generados por la metodología del INAMHI en contraste con la ecuación propia, registrándose variaciones que oscilan entre el 75% y el 90%. Sin embargo, este aumento no se transfiere linealmente a la geometría de la red; los diámetros requirieron ajustes más moderados, variando entre un 10% y un 35%. En este aspecto, destacan los conductos CO-22 al CO-25 por presentar los mayores incrementos de sección. Por su parte, la velocidad del flujo experimentó un aumento acotado entre el 15% y el 17%.

La columna de variación de F/C muestra un comportamiento mixto (valores positivos y negativos) que se explica por la discretización de los diámetros comerciales: Valores Positivos En tramos como el CO-2 (+33.33%), el aumento de caudal saturó más la tubería a pesar del cambio de diámetro. Valores Negativos En tramos como el CO-3 (-25.83%) o CO-11 (-25.26%), el valor es negativo. Esto ocurre porque, para manejar el caudal del INAMHI, el diseño aumento a un diámetro comercial mucho más grande, el cual quedó holgado (menos lleno) en comparación con el diseño original más ajustado.

La pendiente presenta una variación del 0.00% en todos los casos, confirmando que la topografía impone la misma restricción de inclinación para ambos diseños.

Tabla 6 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 5 años

Tramo	Tr = 5 años, Ec. I. propia					Tr = 5 años, Ec. I. INAMHI					Variación de Diámetro (%)	Variación de velocidad (%)	Variación de Caudal (%)	Variación de Flujo/Capacidad (%)
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)				
CO-1	0.055	335	2.94	41.8	15.6	0.055	400	3.4	73.19	16.8	19.40	15.65	75.10	7.69
CO-2	0.011	400	2.21	132.43	67.8	0.011	440	2.52	233.69	90.4	10.00	14.03	76.46	33.33
CO-3	0.042	400	4.23	231.52	60.4	0.042	540	4.88	412.62	44.8	35.00	15.37	78.22	-25.83
CO-4	0.08	400	5.77	307.6	58.3	0.08	540	6.66	551.02	43.5	35.00	15.42	79.14	-25.39
CO-5	0.08	400	6.01	365.35	69.3	0.08	540	6.97	656.44	51.8	35.00	15.97	79.67	-25.25
CO-6	0.077	540	6.56	543.11	43.6	0.077	650	7.61	978.8	48.3	20.37	16.01	80.22	10.78
CO-7	0.075	540	6.6	578.44	47.1	0.075	650	7.66	1,045.85	52.3	20.37	16.06	80.81	11.04
CO-8	0.072	540	6.61	625.16	52.1	0.072	650	7.67	1,133.95	58.2	20.37	16.04	81.39	11.71
CO-9	0.077	540	6.95	684.44	55.1	0.077	650	8.08	1,245.38	61.5	20.37	16.26	81.96	11.62
CO10	0.08	540	7.19	743.42	58.7	0.08	650	8.35	1,356.75	65.9	20.37	16.13	82.50	12.27
CO-11	0.072	540	7.04	796.83	66.1	0.072	760	8.2	1,458.38	49.4	40.74	16.48	83.02	-25.26
CO-12	0.076	540	7.3	850.72	68.7	0.076	760	8.51	1,561.55	51.4	40.74	16.58	83.56	-25.18
CO-13	0.074	650	7.34	907.76	45.8	0.074	760	8.56	1,670.88	55.9	16.92	16.62	84.07	22.05
CO-14	0.072	650	7.36	962.54	49.4	0.072	760	8.58	1,776.58	60.4	16.92	16.58	84.57	22.27

CO-15	0.005	875	2.71	1031.29	93	0.005	1035	3.16	1,909.53	95	18.29	16.61	85.16	2.15
CO-16	0.005	875	2.71	1030.82	93	0.005	1035	3.16	1,922.58	95.7	18.29	16.61	86.51	2.90
CO-17	0.005	875	2.71	1033.83	93.3	0.005	1035	3.17	1,939.91	96.5	18.29	16.97	87.64	3.43
CO-18	0.08	335	4.25	1276.34	29	0.08	335	4.93	2,410.88	50.7	0.00	16.00	88.89	74.83
CO-19	0.076	335	4.53	93.96	40.4	0.076	335	5.22	164.53	71.1	0.00	15.23	75.11	75.99
CO-20	0.069	335	4.59	127.69	50.6	0.069	400	5.3	224.8	55	19.40	15.47	76.05	8.70
CO-21	0.08	335	4.96	152.75	52	0.08	400	5.73	270.1	56.8	19.40	15.52	76.82	9.23
CO-22	0.017	400	2.87	168.5	76.3	0.017	540	3.33	299.25	56.6	35.00	16.03	77.60	-25.82
CO-23	0.066	400	4.87	188.06	43.8	0.066	540	5.61	335.08	32.8	35.00	15.20	78.18	-25.11
CO-24	0.075	400	5.24	210.01	45.1	0.075	540	6.04	377.08	33.8	35.00	15.27	79.55	-25.06
CO-25	0.08	400	5.49	230.38	47.8	0.08	540	6.33	415.48	36	35.00	15.30	80.35	-24.69
CO-26	0.079	335	3.61	251.94	16.6	0.079	335	4.23	455.83	29	0.00	17.17	80.93	74.70
CO-27	0.07	335	3.7	53.41	22.7	0.07	335	4.32	93.52	39.9	0.00	16.76	75.10	75.77
CO-28	0.07	335	3.89	68.49	27.3	0.07	335	4.54	120.69	48.2	0.00	16.71	76.22	76.56
CO-29	0.06	335	3.82	82.45	33.2	0.06	335	4.44	145.85	59	0.00	16.23	76.90	77.71
CO-30	0.005	975	2.88	93.21	84.1	0.005	1150	3.36	165.91	93	17.95	16.67	78.00	10.58
CO-31	0.005	975	2.91	1352.5	89.1	0.005	1150	3.39	2,571.99	99.3	17.95	16.49	90.17	11.45

CO-32	0.018	335	2.65	136.87	89.4	0.018	440	3.08	239.66	72.7	31.34	16.23	75.10	-18.68
-------	-------	-----	------	--------	------	-------	-----	------	--------	------	-------	-------	-------	--------

4.5.2 Periodo de retorno de 10 años.

A continuación, se presenta la siguiente tabla los resultados obtenidos del modelado hidráulico del sistema para un periodo de retorno de $Tr = 10$ años, contrastando dos escenarios de pluviosidad: la ecuación IDF propia (desarrollada a partir de los datos procesados de CHIRPS) y la ecuación IDF oficial del INAMHI. En ella se analizan variables críticas como la pendiente (S), el diámetro (D), la velocidad (V), el caudal (Q) y la relación de llenado/capacidad (F/C), permitiendo cuantificar las variaciones porcentuales en el dimensionamiento y la respuesta hidráulica de cada tramo ante el uso de diferentes fuentes de datos climáticos.

Tabla 7 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 10 años

Tramo	Tr = 10 años, Ec. I. propia					Tr = 10 años, Ec. I. INAMHI					Variación de Pendiente (%)	Variación de Diámetro (%)	Variación de velocidad (%)	Variación de Caudal (%)	Variación de Flujo/Capacidad (%)
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)					
CO-1	0.055	335	3.01	45.39	16.9	0.055	335	3.61	85.9	32.1	0.00	0.00	19.93	89.25	89.94
CO-2	0.011	400	2.26	143.86	73.7	0.011	540	2.66	274.33	58.5	0.00	35.00	17.70	90.69	-20.62
CO-3	0.042	400	4.31	251.56	65.6	0.042	540	5.09	484.51	52.6	0.00	35.00	18.10	92.60	-19.82
CO-4	0.08	400	5.89	334.27	63.4	0.08	650	6.89	647.09	31.4	0.00	62.50	16.98	93.58	-50.47
CO-5	0.08	400	6.12	397.07	75.3	0.08	650	7.23	770.91	37.4	0.00	62.50	18.14	94.15	-50.33
CO-6	0.077	540	6.7	590.3	47.4	0.077	650	7.93	1,149.56	56.7	0.00	20.37	18.36	94.74	19.62
CO-7	0.075	540	6.75	628.76	51.2	0.075	650	7.97	1,228.38	61.5	0.00	20.37	18.07	95.37	20.12

CO-8	0.076	540	6.9	679.62	55.1	0.072	760	7.98	1,331.93	45.3	-5.26	40.74	15.65	95.98	-17.79
CO-9	0.073	650	6.94	744.19	37.7	0.072	760	8.19	1,462.90	49.6	-1.37	16.92	18.01	96.58	31.56
CO-10	0.079	650	7.3	808.32	39.4	0.079	760	8.68	1,593.74	51.5	0.00	16.92	18.90	97.17	30.71
CO-11	0.072	650	7.19	866.44	44.2	0.072	760	8.54	1,713.21	58	0.00	16.92	18.78	97.73	31.22
CO-12	0.076	650	7.46	925.12	46	0.076	875	8.85	1,834.50	42.3	0.00	34.62	18.63	98.30	-8.04
CO-13	0.074	650	7.51	987.22	49.8	0.074	875	8.91	1,963.03	46	0.00	34.62	18.64	98.84	-7.63
CO-14	0.072	650	7.52	1,046.88	53.7	0.072	975	8.89	2,087.32	36.3	0.00	50.00	18.22	99.38	-32.40
CO-15	0.005	975	2.81	1,121.75	73.9	0.005	1150	3.31	2,243.63	86.6	0.00	17.95	17.79	100.01	17.19
CO-16	0.005	975	2.81	1,121.62	73.9	0.005	1150	3.32	2,259.31	87.2	0.00	17.95	18.15	101.43	18.00
CO-17	0.005	975	2.81	1,125.20	74.1	0.005	1150	3.32	2,279.98	88	0.00	17.95	18.15	102.63	18.76
CO-18	0.08	335	4.34	1,389.56	31.5	0.08	335	5.13	2,833.90	59.6	0.00	0.00	18.20	103.94	89.21
CO-19	0.076	335	4.63	102.04	43.9	0.076	400	5.45	193.1	51.3	0.00	19.40	17.71	89.24	16.86
CO-20	0.069	335	4.69	138.7	55	0.077	400	5.72	263.87	61.5	11.59	19.40	21.96	90.25	11.82
CO-21	0.08	335	5.07	165.93	56.5	0.08	400	5.95	317.07	66.6	0.00	19.40	17.36	91.09	17.88
CO-22	0.017	400	2.92	183.06	82.9	0.017	540	3.46	351.34	66.5	0.00	35.00	18.49	91.93	-19.78
CO-23	0.066	400	4.98	204.34	47.6	0.066	540	5.86	393.42	38.5	0.00	35.00	17.67	92.53	-19.12
CO-24	0.075	400	5.35	228.23	49	0.075	540	6.31	442.81	39.7	0.00	35.00	17.94	94.02	-18.98
CO-25	0.08	400	5.61	250.41	51.9	0.08	540	6.61	487.94	42.3	0.00	35.00	17.83	94.86	-18.50
CO-26	0.079	335	3.69	273.87	18	0.079	335	4.42	535.36	34	0.00	0.00	19.78	95.48	88.89
CO-27	0.07	335	3.78	58	24.6	0.07	335	4.51	109.76	46.9	0.00	0.00	19.31	89.24	90.65
CO-28	0.07	335	3.98	74.39	29.6	0.07	335	4.73	141.67	56.6	0.00	0.00	18.84	90.44	91.22
CO-29	0.06	335	3.91	89.57	36	0.06	335	4.61	171.21	69.3	0.00	0.00	17.90	91.15	92.50
CO-30	0.005	975	2.93	101.28	91.6	0.005	1245	3.51	194.78	86.7	0.00	27.69	19.80	92.32	-5.35
CO-31	0.005	975	2.95	1,472.64	97	0.005	1245	3.55	3,023.68	92.5	0.00	27.69	20.34	105.32	-4.64
CO-32	0.018	400	2.74	148.63	59.7	0.018	440	3.18	281.27	85.3	0.00	10.00	16.06	89.24	42.88

4.5.3 Periodo de retorno de 25 años

La Tabla 12 presenta los resultados del análisis comparativo entre el diseño hidráulico generado con la ecuación de intensidad propia (CHIRPS) y el estipulado por la normativa INAMHI, específicamente para un periodo de retorno de 25 años. En dicha matriz se contrastan los parámetros geométricos (pendiente y diámetro) e hidráulicos (velocidad, caudal y relación de llenado) de cada colector de la red, cuantificando la variación porcentual que impone el uso de la información pluviométrica oficial frente a la estimación satelital propuesta.

A diferencia de los periodos de retorno menores, para $Tr=25$ años, el incremento del caudal supera el 100% en la totalidad de los tramos. Las variaciones oscilan entre un 109% y un 127%, generando incrementos de diámetro que alcanzan casi el 50%. Destacan los tramos CO-5 (+47.73%) y los tramos del CO-6 al CO-8 (+40.74%). A excepción de los conductos CO-18, CO-26, CO-27, CO-28, todos los tramos presentan un incremento en su diámetro al menos 1 etapa.

La velocidad del flujo mantiene una tendencia alcista constante, con variaciones acotadas en el rango del 20% al 25%, presentándose velocidades máximas de 9.42 m/s en CO-14.

Se observan valores atípicos como en el tramo CO-1, donde la relación F/C aumenta un 241.38% (pasando de un funcionamiento muy holgado al 11.6% a uno más exigido del 39.6%).

Los tramos de conexión CO-15, CO-16 y CO-17 mantienen niveles de saturación críticos en ambos escenarios evaluados. Esta respuesta hidráulica es coherente con el patrón identificado en la Tabla 8, donde ya se evidenciaba que dichos colectores, al recibir y articular los aportes de la cuenca media, trabajan sistemáticamente cerca de su límite operativo, independientemente de la tormenta de diseño aplicada.

Tabla 8 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 25 años

Tramo	Tr = 25 años, Ec. Intensidad propia					Tr = 25 años, Ec. Intensidad INAMHI					Variación de Diámetro (%)	Variación de velocidad (%)	Variación de Caudal (%)	Variación de Flujo/Capacidad (%)
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)				
CO-1	0.055	400	3.05	50.62	11.6	0.055	335	3.82	106.15	39.6	-16.25	25.25	109.70	241.38
CO-2	0.011	400	2.31	160.45	82.2	0.011	540	2.8	339.07	72.3	35.00	21.21	111.32	-12.04
CO-3	0.042	440	4.44	280.67	55.3	0.042	540	5.36	598.98	65.1	22.73	20.72	113.41	17.72
CO-4	0.08	440	6.06	373.03	53.4	0.08	540	7.32	800.07	63.2	22.73	20.79	114.48	18.35
CO-5	0.08	440	6.32	443.16	63.5	0.08	650	7.65	953.25	46.3	47.73	21.04	115.10	-27.09
CO-6	0.077	540	6.89	658.91	52.9	0.077	760	8.35	1,421.56	46.5	40.74	21.19	115.74	-12.10
CO-7	0.075	540	6.93	701.93	57.1	0.075	760	8.41	1,519.14	50.4	40.74	21.36	116.42	-11.73
CO-8	0.072	540	6.94	758.8	63.3	0.072	760	8.43	1,647.32	56	40.74	21.47	117.10	-11.53
CO-9	0.072	650	7.1	830.91	42.5	0.072	760	8.64	1,809.45	61.4	16.92	21.69	117.77	44.47
CO10	0.079	650	7.52	902.59	44	0.079	760	9.15	1,971.43	63.7	16.92	21.68	118.42	44.77
CO-11	0.072	650	7.4	967.59	49.4	0.072	875	9	2,119.35	50.2	34.62	21.62	119.03	1.62
CO-12	0.076	650	7.68	1033.24	51.3	0.076	875	9.35	2,269.54	52.4	34.62	21.74	119.65	2.14
CO-13	0.074	650	7.72	1102.72	55.6	0.074	875	9.4	2,428.72	56.9	34.62	21.76	120.25	2.34
CO-14	0.072	650	7.73	1169.47	60	0.072	875	9.42	2,582.65	61.5	34.62	21.86	120.84	2.50
CO-15	0.005	975	2.87	1253.26	82.6	0.005	1245	3.5	2,776.28	85	27.69	21.95	121.52	2.91
CO-16	0.005	975	2.87	1253.37	82.6	0.005	1245	3.5	2,796.15	85.6	27.69	21.95	123.09	3.63
CO-17	0.005	975	2.88	1257.6	82.9	0.005	1245	3.51	2,822.12	86.4	27.69	21.88	124.41	4.22
CO-18	0.08	335	4.47	1553.35	35.1	0.08	335	5.39	3,508.29	73.6	0.00	20.58	125.85	109.69

CO-19	0.076	335	4.76	113.79	48.9	0.076	400	5.74	238.62	63.4	19.40	20.59	109.70	29.65
CO-20	0.069	335	4.82	154.71	61.3	0.069	440	5.81	326.11	60.3	31.34	20.54	110.79	-1.63
CO-21	0.08	400	5.19	185.12	38.7	0.08	440	6.29	391.9	62.2	10.00	21.19	111.70	60.72
CO-22	0.017	400	2.98	204.27	92.5	0.017	540	3.63	434.28	82.2	35.00	21.81	112.60	-11.14
CO-23	0.066	400	5.13	228.03	53.1	0.066	540	6.2	486.33	47.6	35.00	20.86	113.27	-10.36
CO-24	0.075	400	5.51	254.75	54.7	0.075	540	6.67	547.47	49.1	35.00	21.05	114.90	-10.24
CO-25	0.08	400	5.76	279.55	58	0.08	540	6.98	603.34	52.3	35.00	21.18	115.83	-9.83
CO-26	0.079	335	3.81	305.78	20	0.079	335	4.68	662.03	42	0.00	22.83	116.51	110.00
CO-27	0.07	335	3.9	64.68	27.5	0.07	335	4.75	135.64	57.9	0.00	21.79	109.71	110.55
CO-28	0.07	335	4.11	82.99	33.1	0.07	335	4.97	175.09	70	0.00	20.92	110.98	111.48
CO-29	0.06	335	4.03	99.93	40.2	0.06	440	4.86	211.63	39.8	31.34	20.60	111.78	-1.00
CO-30	0.005	1035	3.04	113.03	77.3	0.005	1345	3.71	240.79	86.7	29.95	22.04	113.03	12.16
CO-31	0.005	1035	3.08	1646.78	81.9	0.005	1345	3.75	3,743.78	92.5	29.95	21.75	127.34	12.94
CO-32	0.018	400	2.81	165.75	66.6	0.018	540	3.39	347.58	58.1	35.00	20.64	109.70	-12.76

4.5.4 Periodo de retorno de 50 años

La Tabla 13 resume los resultados del modelado hidráulico para un periodo de retorno de 50 años, donde se contrastan los parámetros de diseño resultantes de la aplicación de la ecuación de intensidad propia (derivada de datos satelitales CHIRPS) frente a los obtenidos mediante la ecuación oficial del INAMHI.

A este nivel de recurrencia, la normativa INAMHI proyecta un escenario hidrológico de tal magnitud que obliga a repensar la escala total del proyecto en comparación con la propuesta basada en datos satelitales.

La variable de caudal presenta las diferencias más grandes del estudio. La variación porcentual indica que la normativa INAMHI proyecta volúmenes de agua que no solo duplican, sino que en varios tramos superan en casi una vez y media a la estimación propia. El incremento del caudal varía entre el 125% y el 145%. Un punto crítico se observa en el colector de descarga final CO-31, donde el caudal de diseño salta de 1,791 l/s (Propia) a unos masivos 4,399 l/s (INAMHI), lo que representa un aumento del 145.53%. Los aumentos de diámetro oscilan mayoritariamente entre el 35% y el 50%, con picos de hasta el 61.19% en los tramos CO-20 y CO-21.

Un hallazgo preocupante en el escenario INAMHI son las velocidades resultantes. Debido a la combinación de grandes caudales y pendientes fijas, el flujo alcanza velocidades erosivas: Se registran aumentos de velocidad en el rango del 23% al 27%, superando los 10 m/s.

El parámetro de Relación Flujo/Capacidad (F/C) muestra nuevamente la dualidad entre saturación y holgura excesiva forzada por los diámetros comerciales. Tramos como el CO-1 (+126.98%) y CO-26 (+126.15%) muestran que, sin un cambio de diámetro masivo, la tubería original sería totalmente insuficiente. Por otro lado, los tramos CO-20 y CO-21, la variación de F/C cae un -41.44%. Esto indica que el diámetro comercial disponible para manejar el caudal del INAMHI es demasiado grande.

En este caso la pendiente varía en dos únicos tramos, en el CO-14 aumenta un 5.56% y en el tramo CO-29 cuyo aumento es de 1.67%.

Tabla 9 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 50 años

Tr = 50 años, Ec. Intensidad propia	Tr = 50 años, Ec. Intensidad INAMHI
-------------------------------------	-------------------------------------

Tramo	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	Variación de Diámetro (%)	Variación de velocidad (%)	Variación de Caudal (%)	Variación de Flujo/Capacidad (%)
CO-1	0.055	400	3.13	54.97	12.6	0.055	400	3.95	124.58	28.6	0.00	26.20	126.63	126.98
CO-2	0.011	400	2.34	174.29	89.3	0.011	540	2.89	397.99	84.9	35.00	23.50	128.35	-4.93
CO-3	0.042	440	4.53	304.95	60.1	0.042	650	5.58	703.17	47	47.73	23.18	130.59	-21.80
CO-4	0.08	440	6.18	405.35	58.1	0.08	650	7.62	939.32	45.6	47.73	23.30	131.73	-21.51
CO-5	0.08	440	6.44	481.6	69	0.08	650	7.97	1,119.22	54.4	47.73	23.76	132.40	-21.16
CO-6	0.077	540	7.04	716.12	57.5	0.077	760	8.7	1,669.16	54.6	40.74	23.58	133.08	-5.04
CO-7	0.075	540	7.08	762.95	62.1	0.075	760	8.75	1,783.85	59.2	40.74	23.59	133.81	-4.67
CO-8	0.072	540	7.07	824.83	68.8	0.072	760	8.76	1,934.47	65.8	40.74	23.90	134.53	-4.36
CO-9	0.072	650	7.25	903.29	46.2	0.072	875	8.99	2,124.97	50.5	34.62	24.00	135.25	9.31
CO10	0.079	650	7.68	981.29	47.8	0.079	875	9.53	2,315.31	52.4	34.62	24.09	135.95	9.62
CO-11	0.072	650	7.56	1,052.05	53.7	0.072	875	9.37	2,489.16	59	34.62	23.94	136.60	9.87
CO-12	0.076	650	7.84	1,123.52	55.8	0.076	875	9.73	2,665.69	61.5	34.62	24.11	137.26	10.22
CO-13	0.074	650	7.88	1,199.16	60.5	0.074	975	9.78	2,852.78	48.8	50.00	24.11	137.90	-19.34
CO-14	0.072	650	7.88	1,271.84	65.3	0.076	975	10.05	3,033.73	51.1	50.00	27.54	138.53	-21.75
CO-15	0.005	975	2.92	1,363.07	89.8	0.005	1245	3.59	3,261.47	99.8	27.69	22.95	139.27	11.14
CO-16	0.005	975	2.92	1,363.38	89.8	0.005	1345	3.66	3,285.05	81.2	37.95	25.34	140.95	-9.58
CO-17	0.005	975	2.92	1,368.12	90.2	0.005	1345	3.67	3,315.91	82	37.95	25.68	142.37	-9.09
CO-18	0.08	335	4.57	1,690.07	38.1	0.08	400	5.64	4,122.61	53.1	19.40	23.41	143.93	39.37
CO-19	0.076	335	4.87	123.58	53.2	0.076	400	5.95	280.05	74.5	19.40	22.18	126.61	40.04
CO-20	0.069	335	4.91	168.04	66.6	0.069	540	6.03	382.77	39	61.19	22.81	127.79	-41.44
CO-21	0.08	335	5.31	201.1	68.4	0.08	540	6.53	460.04	40.3	61.19	22.98	128.76	-41.08
CO-22	0.017	440	3.07	221.93	75.9	0.017	650	3.81	509.82	59.3	47.73	24.10	129.72	-21.87
CO-23	0.066	440	5.22	247.77	43.6	0.066	650	6.42	570.96	34.3	47.73	22.99	130.44	-21.33
CO-24	0.075	440	5.61	276.89	44.9	0.075	650	6.91	642.84	35.5	47.73	23.17	132.16	-20.94

CO-25	0.08	440	5.88	303.88	47.6	0.08	650	7.25	708.48	37.8	47.73	23.30	133.14	-20.59
CO-26	0.079	335	3.9	332.42	21.8	0.079	335	4.87	777.44	49.3	0.00	24.87	133.87	126.15
CO-27	0.07	335	3.99	70.25	29.8	0.07	335	4.94	159.19	68	0.00	23.81	126.60	128.19
CO-28	0.07	335	4.2	90.14	35.9	0.07	400	5.19	205.52	50.5	19.40	23.57	128.00	40.67
CO-29	0.06	335	4.11	108.56	43.7	0.061	400	5.1	248.42	61.4	19.40	24.09	128.83	40.50
CO-30	0.005	1035	3.09	122.81	84.1	0.005	1500	3.87	282.69	83.6	44.93	25.24	130.18	-0.59
CO-31	0.005	1035	3.13	1,791.97	89.2	0.005	1500	3.91	4,399.85	89.3	44.93	24.92	145.53	0.11
CO-32	0.018	400	2.86	180.01	72.3	0.018	540	3.52	407.93	68.2	35.00	23.08	126.62	-5.67

4.5.5 Periodo de retorno de 100 años

Finalmente, se exponen en la siguiente tabla 14 los datos correspondientes al escenario de $Tr = 100$ años, considerado el peor evento para la evaluación de resiliencia de infraestructura. Este cuadro comparativo permite visualizar el impacto máximo del cambio climático sobre el diseño pluvial.

Para el evento extremo de 100 años, la brecha hidrológica es máxima. El uso de los parámetros del INAMHI proyecta un escenario de catástrofe que exige una infraestructura masiva, gestionando caudales que son, en promedio, 2.5 veces superiores a los estimados mediante la ecuación propia. En el punto de descarga final CO-31, el sistema pasa de manejar 1,950 l/s (Diseño Propio) a la exorbitante cifra de 5,170 l/s (Diseño INAMHI).

El diseño del INAMHI obliga a utilizar tuberías de 1,500 mm y 1,600 mm en los tramos finales (CO-30, CO-31), en contraste con los 1,035 mm máximos requeridos por el diseño propio.

Un factor alarmante en el diseño del INAMHI son las velocidades resultantes. El aumento generalizado de la velocidad ronda el 25% al 29%, alcanzando valores absolutos críticos en los conductos CO-13 y CO-14, la velocidad supera la barrera de los 10 m/s (10.19 m/s y 10.21 m/s respectivamente).

Tabla 10 Tabla comparativa de los parámetros físicos e hidráulicos de los diseños, mediante la ecuación de intensidad propia y la estipulada en el INAMHI para un periodo de retorno de 100 años

Tramo	Tr = 100 años, Ec. I. propia					Tr = 100 años, Ec. I. propia					Variación de Diámetro (%)	Variación de velocidad (%)	Variación de Caudal (%)	Variación de Flujo/Capacidad (%)
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	Q (l/s)	F/C (%)				
CO-1	0.06	400	3.20	59.70	13.70	0.06	400	4.13	146.21	33.60	0.00	29.06	144.91	145.26
CO-2	0.01	440	2.42	189.33	73.20	0.01	650	3.04	467.17	61.30	47.73	25.62	146.75	-16.26
CO-3	0.04	440	4.62	331.39	65.30	0.04	650	5.81	825.57	55.20	47.73	25.76	149.12	-15.47
CO-4	0.08	440	6.31	440.55	63.10	0.08	650	7.94	1102.93	53.60	47.73	25.83	150.35	-15.06
CO-5	0.08	540	6.58	523.46	41.30	0.08	650	8.29	1314.23	63.80	20.37	25.99	151.07	54.48
CO-6	0.08	540	7.19	778.44	62.50	0.08	760	9.05	1960.08	64.10	40.74	25.87	151.80	2.56
CO-7	0.08	540	7.22	829.41	67.50	0.08	875	9.11	2094.87	48.70	62.04	26.18	152.57	-27.85
CO-8	0.07	650	7.23	896.75	46.00	0.07	875	9.13	2271.87	54.10	34.62	26.28	153.34	17.61
CO-9	0.07	650	7.41	982.13	50.30	0.07	875	9.36	2495.72	59.30	34.62	26.32	154.11	17.89
CO10	0.08	650	7.85	1067.04	52.00	0.08	875	9.92	2719.41	61.60	34.62	26.37	154.86	18.46
CO-11	0.07	650	7.72	1144.07	58.40	0.07	975	9.76	2923.74	50.60	50.00	26.42	155.56	-13.36
CO-12	0.08	650	8.01	1221.88	60.70	0.08	975	10.13	3131.24	52.80	50.00	26.47	156.26	-13.01
CO-13	0.07	760	8.03	1304.24	43.60	0.07	975	10.19	3351.16	57.30	28.29	26.90	156.94	31.42
CO-14	0.07	760	8.05	1383.38	47.10	0.07	975	10.21	3563.88	62.00	28.29	26.83	157.62	31.63
CO-15	0.01	1035	3.01	1482.73	73.80	0.01	1345	3.76	3831.47	94.70	29.95	24.92	158.41	28.32
CO-16	0.01	1035	3.01	1483.49	73.80	0.01	1345	3.77	3859.69	95.40	29.95	25.25	160.18	29.27

CO-17	0.01	975	2.96	1489.00	98.10	0.01	1345	3.77	3896.20	96.30	37.95	27.36	161.67	-1.83
CO-18	0.08	335	4.68	1839.56	41.40	0.08	440	5.86	4844.42	47.10	31.34	25.21	163.35	13.77
CO-19	0.08	335	4.97	134.20	57.70	0.08	440	6.21	328.68	66.00	31.34	24.95	144.92	14.38
CO-20	0.07	335	5.00	182.52	72.40	0.07	540	6.29	449.28	45.80	61.19	25.80	146.15	-36.74
CO-21	0.08	335	5.41	218.45	74.40	0.08	540	6.81	540.01	47.30	61.19	25.88	147.20	-36.42
CO-22	0.02	440	3.13	241.10	82.50	0.02	650	3.95	598.50	69.70	47.73	26.20	148.24	-15.52
CO-23	0.07	440	5.34	269.20	47.40	0.07	650	6.71	670.31	40.30	47.73	25.66	149.00	-14.98
CO-24	0.08	440	5.74	300.89	48.80	0.08	650	7.22	754.79	41.70	47.73	25.78	150.85	-14.55
CO-25	0.08	440	6.01	330.27	51.70	0.08	650	7.56	831.93	44.30	47.73	25.79	151.89	-14.31
CO-26	0.08	335	3.99	361.31	23.60	0.08	335	5.07	912.95	57.90	0.00	27.07	152.68	145.34
CO-27	0.07	335	4.08	76.29	32.40	0.07	400	5.15	186.84	49.10	19.40	26.23	144.91	51.54
CO-28	0.07	335	4.29	97.91	39.00	0.07	400	5.40	241.23	59.30	19.40	25.87	146.38	52.05
CO-29	0.06	335	4.21	117.93	47.50	0.06	440	5.28	291.61	54.80	31.34	25.42	147.27	15.37
CO-30	0.01	1035	3.14	133.43	91.50	0.01	1500	3.97	331.87	98.30	44.93	26.43	148.72	7.43
CO-31	0.01	1035	3.17	1950.68	97.10	0.01	1600	4.08	5170.53	87.30	54.59	28.71	165.06	-10.09
CO-32	0.02	400	2.92	195.48	78.50	0.02	540	3.65	478.77	80.10	35.00	25.00	144.92	2.04

4.6 Evaluación de Vulnerabilidad

4.6.1 Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 5 años

Con el fin de evaluar la vulnerabilidad del sistema de alcantarillado frente a situaciones climáticas no previstas se estudiará el comportamiento de la red frente a una carga hidráulica mayor para la cual no fue diseñado originalmente se mantienen fijos los parámetros físicos del diseño original (pendiente y diámetro) con el fin de observar el consumo del margen de seguridad de la red. Este análisis permite identificar los

primeros tramos propensos a la saturación ante un incremento moderado en la intensidad de precipitación, evaluando si la infraestructura crítica aún cumple con los niveles de servicio aceptables.

Se realizará este análisis para los diseños utilizando la ecuación IDF propia de la zona de estudio, a continuación, se presenta las tablas donde se resumen lo Se observa que, si bien el diseño base es competente para su escenario original, el sistema presenta una vulnerabilidad localizada crítica ante incrementos moderados de la precipitación, evolucionando rápidamente hacia un régimen de flujo presurizado en tramos específicos.

El grupo de colectores CO-15, CO-16 y CO-17 colapsa funcionalmente, pasando de una relación de llenado (F/C) del 93% en el diseño base, a valores de 101.2% y 101.5%. Esto indica que, ante una lluvia de 10 años, estos tramos ya no trabajarían a superficie libre sino a presión. De igual manera los tramos CO-31 y CO-32 alcanzan niveles de saturación del 97% y 97.1% respectivamente, consumiendo casi la totalidad de su borde libre.

Para $Tr=25$, los tramos críticos (CO-15 a CO-17) alcanzan una sobrecarga del 113%, y la descarga final (CO-30 a CO-32) supera el umbral del 100%, llegando hasta el 108.4% en el CO-31. Para $Tr=50$, nuevos tramos se suman al colapso: el CO-22 alcanza el 100.5% de su capacidad, uniéndose al grupo de tuberías que operan bajo presión.

Tramos de cabecera como el CO-1 o intermedios como el CO-18 mantienen relaciones F/C muy bajas (22.3% y 41.4% respectivamente) incluso ante el evento de 100 años.

Tabla 11 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 5 años

Tramo	Parámetros físicos		Tr = 5 años (Diseño Base)			Tr = 10 años			Tr = 25 años			Tr = 50 años			Tr = 100 años		
	S (m/m)	D (mm)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)
CO-1	0.055	335	2.94	15.6	53.1	3.01	16.9	56.1	3.11	18.9	60.1	3.18	20.5	63.2	3.26	22.3	66.1
CO-2	0.011	400	2.21	67.8	66.1	2.26	73.7	69.2	2.31	82.2	73.5	2.34	89.3	76.9	2.38	97	80.6
CO-3	0.042	400	4.23	60.4	73.2	4.31	65.6	75.4	4.42	73.2	78.3	4.5	79.6	80.5	4.58	86.4	82.8
CO-4	0.08	400	5.77	58.3	75	5.89	63.4	76.8	6.04	70.8	79.3	6.15	76.9	81.2	6.25	83.5	83.3
CO-5	0.08	400	6.01	69.3	78.6	6.12	75.3	80.5	6.26	84.1	83.2	6.35	91.4	85.5	6.43	99.3	88.1
CO-6	0.077	540	6.56	43.6	69.3	6.7	47.4	71.2	6.89	52.9	73.6	7.04	57.5	75.4	7.19	62.5	77.2
CO-7	0.075	540	6.6	47.1	70.9	6.75	51.2	72.8	6.93	57.1	75.2	7.08	62.1	77	7.22	67.5	78.9
CO-8	0.072	540	6.61	52.1	73.1	6.75	56.7	74.9	6.94	63.3	77.4	7.07	68.8	79.2	7.2	74.8	81.1
CO-9	0.077	540	6.95	55.1	74.5	7.09	59.9	76.3	7.28	66.9	78.7	7.42	72.7	80.6	7.55	79.1	82.5
CO10	0.08	540	7.19	58.7	76	7.34	63.8	77.7	7.53	71.3	80.2	7.66	77.5	82.1	7.8	84.3	84.2
CO-11	0.072	540	7.04	66.1	78.4	7.18	71.9	80.2	7.35	80.3	82.9	7.47	87.3	85	7.57	94.9	87.4
CO-12	0.076	540	7.3	68.7	79.3	7.44	74.7	81.2	7.61	83.5	83.9	7.73	90.8	86.1	7.82	98.7	88.7
CO-13	0.074	650	7.34	45.8	71.1	7.51	49.8	73.1	7.72	55.6	75.5	7.88	60.5	77.3	8.04	65.8	79.1
CO-14	0.072	650	7.36	49.4	72.3	7.52	53.7	74.2	7.73	60	76.6	7.88	65.3	78.4	8.04	71	80.3
CO-15	0.005	875	2.71	93	74	2.74	101.2	78.1	2.75	113.1	84.8	2.71	123	94.6	2.95	133.7	127.3
CO-16	0.005	875	2.71	93	74.1	2.74	101.2	78.1	2.75	113	84.7	2.71	122.9	94.3	2.95	133.8	119.5
CO-17	0.005	875	2.71	93.3	74.2	2.75	101.5	78.3	2.75	113.4	85	2.72	123.3	92.5	2.96	134.2	111.9
CO-18	0.08	335	4.25	29	57.3	4.34	31.5	59.6	4.47	35.1	62.6	4.57	38.1	64.8	4.68	41.4	66.9
CO-19	0.076	335	4.53	40.4	66	4.63	43.9	68.1	4.76	48.9	70.7	4.87	53.2	72.5	4.97	57.7	74.3
CO-20	0.069	335	4.59	50.6	71	4.69	55	72.9	4.82	61.3	75.3	4.91	66.6	77.1	5	72.4	78.9
CO-21	0.08	335	4.96	52	72.2	5.07	56.5	74	5.2	63	76.2	5.31	68.4	78.1	5.41	74.4	80
CO-22	0.017	400	2.87	76.3	74.6	2.92	82.9	77.7	2.98	92.5	81.8	3.01	100.5	85.1	3.03	109.2	89
CO-23	0.066	400	4.87	43.8	67.5	4.98	47.6	69.6	5.13	53.1	72.2	5.23	57.8	74.1	5.34	62.7	75.9

CO-24	0.075	400	5.24	45.1	69	5.35	49	71	5.51	54.7	73.4	5.62	59.4	75.3	5.73	64.6	77.1
CO-25	0.08	400	5.49	47.8	70.7	5.61	51.9	72.4	5.76	58	74.8	5.88	63	76.6	5.99	68.5	78.4
CO-26	0.079	335	3.61	16.6	43	3.69	18	44.9	3.81	20	47.5	3.9	21.8	49.5	3.99	23.6	51.7
CO-27	0.07	335	3.7	22.7	49.4	3.78	24.6	51.6	3.9	27.5	54.5	3.99	29.8	56.8	4.08	32.4	59.1
CO-28	0.07	335	3.89	27.3	54.3	3.98	29.6	56.6	4.11	33.1	59.7	4.2	35.9	62	4.29	39	64.4
CO-29	0.06	335	3.82	33.2	58.8	3.91	36	61.3	4.03	40.2	64.6	4.11	43.7	67.1	4.21	47.5	69.5
CO-30	0.005	975	2.88	84.1	70.2	2.93	91.5	73.8	2.97	102.3	79	2.98	111.1	85.1	2.89	121.1	106.4
CO-31	0.005	975	2.91	89.1	72.5	2.95	97	76.4	2.98	108.4	82.3	2.91	117.8	88.9	3.06	128.4	99.1
CO-32	0.018	335	2.65	89.4	80.2	2.68	97.1	83.5	2.71	108.3	88.3	2.65	117.6	92.8	2.77	127.7	173.8

4.6.2 Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 10 años

En la tabla 16 se evalúa la vulnerabilidad del sistema tomando como configuración base el diseño optimizado para un periodo de retorno de 10 años. En este análisis, las propiedades físicas de la red (diámetros y pendientes) se mantienen constantes mientras se incrementa la magnitud de la tormenta a eventos de $Tr = 25, 50$ y 100 años.

A diferencia del diseño base de 5 años (que colapsaba rápidamente), este diseño base de 10 años muestra una robustez estructural superior en los colectores principales, aunque revela una deficiencia crítica persistente en la zona de descarga.

Debido a que el diseño original para 10 años ya contemplaba una relación de llenado muy alta en los tramos finales (CO-30 con 91.6% y CO-31 con 97%), el sistema carece de holgura para absorber incrementos menores. Al pasar al escenario de 25 años, los tramos de salida entran inmediatamente en régimen de presión: el CO-30 alcanza el 102.4% y el CO-31 el 108.5% de su capacidad.

Bajo un escenario de recurrencia media (Tr= 50), la falla se expande hacia la red intermedia. Se activa un nuevo punto crítico en el tramo CO-22, el cual agota su reserva de capacidad pasando de un 82.9% (base) a un 100.5% de saturación.

A diferencia del diseño de 5 años (donde estos tramos fallaban prematuramente), el diseño de 10 años logra contener el evento extremo de 100 años sin colapsar, aunque al límite. Los tramos CO-15 y CO-16 alcanzan una saturación del 97.7%, y el CO-17 llega al 98.1%. Pero tiene valores de calado relativo y/D que llegan al 100% o cerca por tanto siguen trabajando a presión.

Tabla 12 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 10 años

Tramo	S (m/m)	D (mm)	Tr = 10 años (Diseño Base)			Tr = 25 años			Tr = 50 años			Tr = 100 años		
			V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)
CO-1	0.055	335	3.01	16.9	56.1	3.11	18.9	60.1	3.18	20.5	63.2	3.26	22.3	66.1
CO-2	0.011	400	2.26	73.7	69.2	2.31	82.2	73.5	2.34	89.3	76.9	2.38	97	80.6
CO-3	0.042	400	4.31	65.6	75.4	4.42	73.2	78.3	4.5	79.6	80.5	4.58	86.4	82.8
CO-4	0.08	400	5.89	63.4	76.8	6.04	70.8	79.3	6.15	76.9	81.2	6.25	83.5	83.3
CO-5	0.08	400	6.12	75.3	80.5	6.26	84.1	83.2	6.35	91.4	85.5	6.43	99.3	88.1
CO-6	0.077	540	6.7	47.4	71.2	6.89	52.9	73.6	7.04	57.5	75.4	7.19	62.5	77.2
CO-7	0.075	540	6.75	51.2	72.8	6.93	57.1	75.2	7.08	62.1	77	7.22	67.5	78.9
CO-8	0.076	540	6.9	55.1	74.5	7.09	61.6	76.9	7.23	66.9	78.7	7.36	72.7	80.6
CO-9	0.073	650	6.94	37.7	66.2	7.15	42.1	69.1	7.31	45.8	71.1	7.47	49.8	73
CO10	0.079	650	7.3	39.4	67.9	7.52	44	70.5	7.68	47.9	72.4	7.85	52	74.2
CO-11	0.072	650	7.19	44.2	70.2	7.4	49.4	72.8	7.56	53.7	74.7	7.72	58.4	76.5
CO-12	0.076	650	7.46	46	71.4	7.68	51.3	73.8	7.84	55.8	75.7	8.01	60.7	77.4
CO-13	0.074	650	7.51	49.8	73.1	7.72	55.6	75.5	7.88	60.5	77.3	8.04	65.8	79.1

CO-14	0.072	650	7.52	53.7	74.2	7.73	60	76.6	7.88	65.3	78.4	8.04	71	80.3
CO-15	0.005	975	2.81	73.9	65.2	2.87	82.6	69.5	2.92	89.8	73	2.96	97.7	76.8
CO-16	0.005	975	2.81	73.9	65.3	2.87	82.6	69.6	2.92	89.9	73.1	2.96	97.7	86.4
CO-17	0.005	975	2.81	74.1	70.9	2.88	82.9	74.9	2.92	90.2	78	2.96	98.1	101.3
CO-18	0.08	335	4.34	31.5	59.6	4.47	35.1	62.6	4.57	38.1	64.8	4.68	41.4	66.9
CO-19	0.076	335	4.63	43.9	68.1	4.76	48.9	70.7	4.87	53.2	72.5	4.97	57.7	74.3
CO-20	0.069	335	4.69	55	72.9	4.82	61.3	75.3	4.91	66.6	77.1	5	72.4	78.9
CO-21	0.08	335	5.07	56.5	74	5.2	63	76.2	5.31	68.4	78.1	5.41	74.4	80
CO-22	0.017	400	2.92	82.9	77.7	2.98	92.5	81.8	3.01	100.5	85.1	3.03	109.2	89
CO-23	0.066	400	4.98	47.6	69.6	5.13	53.1	72.2	5.23	57.8	74.1	5.34	62.7	75.9
CO-24	0.075	400	5.35	49	71	5.51	54.7	73.4	5.62	59.4	75.3	5.73	64.6	77.1
CO-25	0.08	400	5.61	51.9	72.4	5.76	58	74.8	5.88	63	76.6	5.99	68.5	78.4
CO-26	0.079	335	3.69	18	44.9	3.81	20	47.5	3.9	21.8	49.5	3.99	23.6	51.7
CO-27	0.07	335	3.78	24.6	51.6	3.9	27.5	54.5	3.99	29.8	56.8	4.08	32.4	59.1
CO-28	0.07	335	3.98	29.6	56.6	4.11	33.1	59.7	4.2	35.9	62	4.29	39	64.4
CO-29	0.06	335	3.91	36	61.3	4.03	40.2	64.6	4.11	43.7	67.1	4.21	47.5	69.5
CO-30	0.005	975	2.93	91.6	73.8	2.97	102.4	79.1	2.98	111.4	85.5	2.89	121.2	106.5
CO-31	0.005	975	2.95	97	76.4	2.98	108.5	82.4	2.82	118.1	89.3	3.06	128.4	99.1
CO-32	0.018	400	2.74	59.7	66.1	2.81	66.6	69.9	2.86	72.3	72.8	2.92	78.5	75.8

4.6.3 Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 25 años

En la tabla 17, se realiza el mismo análisis que la tabla anterior pero ahora el diseño base es el de periodo de retorno de 25 años y se compara con las precipitaciones a partir del periodo de retorno de 50 y 100 años.

Al someter la infraestructura a una lluvia de 50 años, el sistema exhibe una robustez notable. La gran mayoría de los colectores mantienen su régimen de flujo a superficie libre con márgenes de seguridad aceptables.

La estructura de descarga (CO-30, CO-31), que fallaba en los diseños previos, aquí opera sin problemas, incrementando su relación de llenado (F/C) del 81.9% (base) al 89.2%, conservando aún capacidad de reserva.

Se identifica una única vulnerabilidad crítica en el tramo CO-22. Este conducto agota su capacidad hidráulica, pasando de un 92.5% en el diseño base a un 100.5%, entrando en estado de presurización incipiente.

Bajo el escenario más severo, la red diseñada para 25 años demuestra ser capaz de transportar, casi en su totalidad, el caudal de los 100 años sin desbordamientos masivos.

Los colectores principales (CO-15, CO-16, CO-17) y la descarga final (CO-31) alcanzan un estado de saturación funcional, operando entre el 97% y el 98% de su capacidad. Aunque trabajan al límite físico, técnicamente no superan el 100% de la relación F/C, lo que implica que el diseño de 25 años protege la integridad de la red troncal incluso frente a la tormenta de 100 años.

Tabla 13 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 25 años

Tramo	S (m/m)	D (mm)	Tr = 25 años (Diseño Base)			Tr = 50 años			Tr = 100 años		
			V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)
CO-1	0.055	400	3.05	11.6	48.8	3.13	12.6	51.2	3.2	13.7	53.7
CO-2	0.011	400	2.31	82.2	73.5	2.34	89.3	76.9	2.38	97	80.5

CO-3	0.042	440	4.44	55.3	71	4.53	60.1	73.3	4.62	65.3	75.5
CO-4	0.08	440	6.06	53.4	73.5	6.18	58.1	75.3	6.31	63.1	77.1
CO-5	0.08	440	6.32	63.5	77.1	6.44	69	78.9	6.56	74.9	80.8
CO-6	0.077	540	6.89	52.9	73.6	7.04	57.5	75.4	7.19	62.5	77.2
CO-7	0.075	540	6.93	57.1	75.2	7.08	62.1	77	7.22	67.5	78.9
CO-8	0.072	540	6.94	63.3	77.4	7.07	68.8	79.2	7.2	74.8	81.1
CO-9	0.072	650	7.1	42.5	69.2	7.25	46.2	71.2	7.41	50.3	73.2
CO10	0.079	650	7.52	44	70.5	7.68	47.8	72.4	7.85	52	74.2
CO-11	0.072	650	7.4	49.4	72.8	7.56	53.7	74.7	7.72	58.4	76.5
CO-12	0.076	650	7.68	51.3	73.8	7.84	55.8	75.7	8.01	60.7	77.4
CO-13	0.074	650	7.72	55.6	75.5	7.88	60.5	77.3	8.04	65.8	79.1
CO-14	0.072	650	7.73	60	76.6	7.88	65.3	78.4	8.04	71	80.3
CO-15	0.005	975	2.87	82.6	69.5	2.92	89.8	73	2.96	97.7	76.8
CO-16	0.005	975	2.87	82.6	69.6	2.92	89.8	73.1	2.96	97.7	76.9
CO-17	0.005	975	2.88	82.9	69.6	2.92	90.2	73.2	2.96	98.1	77
CO-18	0.08	335	4.47	35.1	62.6	4.57	38.1	64.8	4.68	41.4	66.9
CO-19	0.076	335	4.76	48.9	70.7	4.87	53.2	72.5	4.97	57.7	74.3
CO-20	0.069	335	4.82	61.3	75.3	4.91	66.6	77.1	5	72.4	78.9
CO-21	0.08	400	5.19	38.7	65.7	5.31	42.1	67.7	5.42	45.7	69.7
CO-22	0.017	400	2.98	92.5	81.8	3.01	100.5	85.1	3.03	109.2	89
CO-23	0.066	400	5.13	53.1	72.2	5.23	57.8	74.1	5.34	62.8	75.9
CO-24	0.075	400	5.51	54.7	73.4	5.62	59.4	75.3	5.73	64.6	77.1
CO-25	0.08	400	5.76	58	74.8	5.88	63	76.6	5.99	68.5	78.4
CO-26	0.079	335	3.81	20	47.5	3.9	21.8	49.5	3.99	23.6	51.7
CO-27	0.07	335	3.9	27.5	54.5	3.99	29.8	56.8	4.08	32.4	59.1
CO-28	0.07	335	4.11	33.1	59.7	4.2	35.9	62	4.29	39	64.4
CO-29	0.06	335	4.03	40.2	64.6	4.11	43.7	67.1	4.21	47.5	69.5
CO-30	0.005	1035	3.04	77.3	67.3	3.09	84.1	70.7	3.14	91.5	74.2

CO-31	0.005	1035	3.08	81.9	69.3	3.13	89.2	72.9	3.17	97	76.7
CO-32	0.018	400	2.81	66.6	69.9	2.86	72.3	72.8	2.92	78.5	75.8

4.6.4 Vulnerabilidad en el diseño con un periodo de retorno de 50 años

En Tabla 18 presenta la evaluación final de resiliencia hidráulica, sometiendo la infraestructura dimensionada para un periodo de retorno de 50 años a las solicitaciones del evento climático extremo de 100 años. Se puede observar en la tabla que el diseño base es capaz de transportar el caudal producido por la tormenta de $Tr=100$, sin embargo, en los conductos CO-15, CO-16 y CO-17 la relación Flujo/Capacidad (F/C) sube a valores de 97.7% y 98.1%, trabajando a su máxima capacidad de transporte.

A diferencia de todos los escenarios de vulnerabilidad anteriores ($Tr=5, 10, 25$), donde siempre se registraba el colapso de al menos un tramo, el diseño de 50 años logra gestionar la tormenta de 100 años sin que ningún conducto supere el 100% de su capacidad. La red absorbe el incremento de carga manteniendo el flujo a superficie libre en la totalidad de sus 32 tramos.

Tramo CO-22: En el diseño de 25 años este tramo fallaba. Aquí, gracias al diámetro de 440 mm (propio del diseño $Tr=50$), el colector opera con una holgura segura al 82.5% incluso bajo la lluvia de 100 años.

En descarga Final, conducto CO-31, el emisario final demuestra una solvencia absoluta, pasando de un 89.2% (base) a un 97% bajo estrés. A pesar de manejar el caudal acumulado de toda la cuenca, no entra en carga, garantizando la evacuación segura de las aguas.

Tabla 14 Tabla de parámetros hidráulicos vulnerables respecto al diseño con un periodo de retorno de 50 años

Tramo	S (m/m)	D (mm)	Tr = 50 años (Diseño Base)			Tr = 100 años		
			V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)	V (m/s)	F/C (%)	y/D (%)
CO-1	0.055	400	3.13	12.6	51.2	3.2	13.7	53.7
CO-2	0.011	400	2.34	89.3	76.9	2.38	97	80.5
CO-3	0.042	440	4.53	60.1	73.3	4.62	65.3	75.5
CO-4	0.08	440	6.18	58.1	75.3	6.31	63.1	77.1
CO-5	0.08	440	6.44	69	78.9	6.56	74.9	80.8
CO-6	0.077	540	7.04	57.5	75.4	7.19	62.5	77.2
CO-7	0.075	540	7.08	62.1	77	7.22	67.5	78.9
CO-8	0.072	540	7.07	68.8	79.2	7.2	74.8	81.1
CO-9	0.072	650	7.25	46.2	71.2	7.41	50.3	73.2
CO10	0.079	650	7.68	47.8	72.4	7.85	52	74.2
CO-11	0.072	650	7.56	53.7	74.7	7.72	58.4	76.5
CO-12	0.076	650	7.84	55.8	75.7	8.01	60.7	77.4
CO-13	0.074	650	7.88	60.5	77.3	8.04	65.8	79.1
CO-14	0.072	650	7.88	65.3	78.4	8.04	71	80.3
CO-15	0.005	975	2.92	89.8	73	2.96	97.7	76.8
CO-16	0.005	975	2.92	89.8	73.1	2.96	97.7	76.9
CO-17	0.005	975	2.92	90.2	73.2	2.96	98.1	77
CO-18	0.08	335	4.57	38.1	64.8	4.68	41.4	66.9
CO-19	0.076	335	4.87	53.2	72.5	4.97	57.7	74.3
CO-20	0.069	335	4.91	66.6	77.1	5	72.4	78.9
CO-21	0.08	335	5.31	68.4	78.1	5.41	74.4	80
CO-22	0.017	440	3.07	75.9	74.7	3.13	82.5	77.7
CO-23	0.066	440	5.22	43.6	67.7	5.34	47.4	69.7
CO-24	0.075	440	5.61	44.9	69.3	5.74	48.8	71.3

CO-25	0.08	440	5.88	47.6	70.9	6.01	51.7	72.7
CO-26	0.079	335	3.9	21.8	49.5	3.99	23.6	51.7
CO-27	0.07	335	3.99	29.8	56.8	4.08	32.4	59.1
CO-28	0.07	335	4.2	35.9	62	4.29	39	64.4
CO-29	0.06	335	4.11	43.7	67.1	4.21	47.5	69.5
CO-30	0.005	1035	3.09	84.1	70.7	3.14	91.5	74.2
CO-31	0.005	1035	3.13	89.2	72.9	3.17	97	76.7
CO-32	0.018	400	2.86	72.3	72.8	2.92	78.5	75.8

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Discusión de resultados de la simulación

La infraestructura de saneamiento urbano enfrenta una amenaza creciente debido a la alteración de los patrones meteorológicos, donde se pone en duda si los diseños tradicionales (periodos de retorno predefinidos) resultan insuficientes ante la intensificación de eventos extremos (Dykes et al., 2025). Esta problemática es destacada por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2021), que confirma un aumento inequívoco en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones.

En base a resultados de la simulación presentados en la Tabla 8 se observa una escalada directa en el caudal conforme aumenta la severidad climática. El caudal en el punto de descarga final (CO-31) no se mantiene estable, sino que aumenta progresivamente de 1,352.5 l/s para un periodo de retorno de 5 años, hasta alcanzar los 1,950.68 l/s en el escenario de 100 años. Este incremento del 44% en la escurrentía confirma la necesidad de abandonar diseños estáticos y adoptar geometrías capaces de absorber variaciones de flujo significativas.

5.2 Discusión de resultados de la Comparación de parámetros físicos e hidráulicos

(CHIRPS vs. INAMHI)

El diseño obtenido mediante la ecuación de intensidad proporcionada por el INAMHI produce diseños más robustos, principalmente por un incremento en los valores de caudal que son mucho mayores. En el diseño con $Tr=25$ años, al contrastar los diseños hidráulicos resultantes (Tabla 12), se evidencia que la metodología tradicional (INAMHI) induce un sobredimensionamiento severo de la infraestructura. Mientras que el modelo basado en CHIRPS optimiza la red para los patrones locales, la normativa INAMHI proyecta caudales que superan en un 100% a 127% en todos los tramos de la red. Esta disparidad obliga a incrementar los diámetros en casi un 50% (ej. tramos CO-5 y CO-6), generando velocidades

erosivas superiores a 9 m/s en colectores de alta pendiente. En base a estos datos se podría argumentar que las precipitaciones obtenidas de CHIRPS pueden ser inexactas, ante esta problemática, Granda Paladines (2024), menciona que el producto CHIRPS presenta una correlación satisfactoria con los datos observados, validándose como una alternativa robusta para la modelación hidrológica en zonas con vacíos de información, además que en zonas de montaña alta, el satélite tiende a subestimar la precipitación.

5.3 Discusión de resultados de Evaluación de Vulnerabilidad

Hughes et al. (2021) advierten que el cambio climático vulnera la integridad de los sistemas de alcantarillado, enfatizando que las nuevas infraestructuras deben diseñarse bajo un enfoque resiliente y adaptativo. En concordancia, Zamanian et al. (2020) postulan que una red de alcantarillado, al ser infraestructura crítica, debe garantizar su operatividad ante riesgos climáticos extremos para evitar fallos en cadena. Los resultados del análisis de vulnerabilidad (Tabla 18) demostraron que el diseño propuesto para un periodo de retorno de 50 años presenta esta robustez notable. El sistema logra gestionar el evento extremo de 100 años sin colapsos masivos, manteniendo a los colectores principales como el CO-17 en un rango de saturación funcional del 98.1%, utilizando al máximo su capacidad sin entrar en régimen de falla. Esto contrasta con los diseños de menor especificación ($Tr=5$ y $Tr=10$) que colapsaron ante la misma solicitud.

La validación del desempeño hidráulico frente a escenarios climáticos adversos se respalda en estudios recientes como el de Bibi et al. (2023), quienes concluyen que los sistemas de drenaje dimensionados exclusivamente bajo patrones históricos de precipitación resultan ineficaces para gestionar los riesgos de inundación proyectados. Esta evidencia científica corrobora los hallazgos de la presente investigación, donde los diseños de baja especificación ($Tr=5$ y 10 años) colapsaron ante el incremento de intensidad de la tormenta de 10 y osei25 años.

Asimismo, Cea y Costabile (2022) sostienen que la herramienta más efectiva para mitigar estos riesgos es la implementación de sistemas resilientes. El diseño propio cumple con esta premisa al asegurar que, incluso en el peor escenario ($Tr=100$), el flujo se mantenga a superficie libre (Relación $F/C < 100\%$) en la totalidad de la red, confinando el agua lluvia dentro de los conductos.

6 CONCLUSIONES

Objetivo específico 1:

Se llevó a cabo con éxito el dimensionamiento hidráulico de la red de alcantarillado pluvial para el sector Troncal de la Sierra (Pifo), abarcando la totalidad de los escenarios de solicitud climática (periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años). Mediante la modelación numérica, se definieron las características geométricas (diámetro y pendiente) necesarias para cada nivel de servicio, garantizando el cumplimiento de los parámetros normativos. El diseño resultante valida la factibilidad técnica del trazado propuesto, demostrando capacidad para evacuar eficientemente los caudales de escorrentía generados tanto en eventos frecuentes como extremos, asegurando el funcionamiento a superficie libre de los colectores y mitigando el riesgo de inundación en la zona de estudio.

Objetivo específico 2:

El análisis comparativo evidenció que la metodología normativa (INAMHI) produce sobredimensionamiento en el diseño la infraestructura. Los resultados mostraron que los caudales de diseño calculados con la normativa vigente son, en promedio, un 130% a 160% superiores a los obtenidos con la ecuación propia para eventos extremos. Esta discrepancia obliga a implementar colectores con diámetros excesivos (hasta 1600 mm), con velocidades que superan los 10 m/s.

Objetivo específico 3:

La evaluación de vulnerabilidad reveló que el sistema posee una resiliencia diferenciada según el periodo de retorno de diseño inicial. Se determinó que el diseño para $Tr=5$ años presenta una alta vulnerabilidad, colapsando funcionalmente en la descarga ante eventos de 10 años. Sin embargo, al elevar el estándar de diseño a $Tr=25$ años, la red adquiere una mejora operativa significativa, siendo capaz de gestionar eventos extremos de 100 años con una saturación máxima del 98% en los colectores principales. La adopción de un periodo de retorno intermedio (25 o 50 años) bajo la metodología CHIRPS garantiza la operatividad del sistema frente a escenarios de cambio climático, transformando el riesgo de inundación generalizada en fallas locales controlables.

Por consiguiente, se establece la necesidad imperativa de transitar hacia diseños basados en geometrías adaptativas que prioricen la capacidad de amortiguamiento y la gestión de excedentes, garantizando la funcionalidad del sistema ante la intensificación de las precipitaciones proyectada por los modelos climáticos globales.

7 RECOMENDACIONES

Ante una limitada densidad en las estaciones meteorológicas para una zona de estudio, se recomienda el uso de productos de precipitación satelital, como CHIRPS, para la generación de curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF). Como se evidenció en este estudio, el uso exclusivo de estaciones lejanas del INAMHI puede inducir a errores de sobreestimación. Por tanto, es aconsejable emplear estas herramientas satelitales para obtener series de precipitación ajustadas a la ubicación exacta del proyecto, garantizando diseños hidrológicamente representativos.

Para mitigar los problemas de velocidad, especialmente para el diseño con los datos del INAMHI en periodos de retorno altos ($Tr=50$ y 100 años) se podría optar por el uso de otro tipo de tubería, por ejemplo, la normativa emitida por la Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable en 2009, propone el aumento de la fricción mediante los siguientes esquemas 5.3.22.11.a, 5.3.22.11.b, 5.3.22.12, 5.3.22.13, 5.3.22.14. El uso de esta alternativa supondría el diseño y construcción de estos esquemas lo cual puede no ser rentable para la importancia de la zona. Se podría optar por el uso de otros materiales para la tubería, sin embargo, siguiendo la normativa colombiana, para los tramos que superen el diámetro de 600 mm, se puede llegar a tener una velocidad de hasta 10m/s.

Es aconsejable emplear herramientas como CHIRPS para obtener datos de precipitación máxima diaria ajustados a la ubicación exacta del proyecto, especialmente cuando las estaciones del INAMHI no se encuentran en el área de estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abd-Elhamid, H. F., Zeleňáková, M., Vranayová, Z., & Fathy, I. (2020). Evaluating the Impact of Urban Growth on the Design of Storm Water Drainage Systems. *Water*, 12(6), 1572. <https://doi.org/10.3390/w12061572>
- Aldás Castro, J. C. (2011). Diseño del alcantarillado sanitario y pluvial y tratamiento de aguas servidas de 4 lotizaciones unidas (varios propietarios), del cantón El Carmen [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio de la PUCE.
- Arregocés, H. A., Rojano, R., & Pérez, J. (2023). Validación del conjunto de datos CHIRPS en una región costera con extensas llanuras y topografía compleja. *Estudios de caso en ingeniería química y ambiental*, 8, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100452>
- Bibi, T. S., Reddythta, D., & Kebebew, A. S. (2023). Assessment of the drainage systems performance in response to future scenarios and flood mitigation measures using stormwater management model. *City and Environment Interactions*, 19, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2023.100111>
- Bonilla Sigüenza, J. P., & Gálvez Legarda, J. A. (2007). Estudio y diseño definitivo del sistema de agua potable y alcantarillado para la comunidad de Santa Marianita del cantón Cuenca. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Cuenca, Ecuador. Disponible en el repositorio institucional de la Universidad de Cuenca.
- Brandon Chejo Jaita. (2021, 13 junio). Estimación del caudal máximo. (MÉTODO RACIONAL) [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Sg5FIaXjKWs>
- Campos, D. F. (1978). Cálculo de las curvas IDF, a partir de registros de lluvia máxima en 24 horas y relaciones duración lluvia promedio (1.ª ed.). Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural.
- Cea, L., & Costabile, P. (2022). Riesgo de inundaciones en zonas urbanas: Modelización, gestión y adaptación al cambio climático. Una revisión. *Hidrología*, 9(3), 50. <https://doi.org/10.3390/hydrology9030050>
- Chaca Cordero, J. L., & Rea Ávila, J. A. (2023). Análisis comparativo de los factores determinantes en la susceptibilidad geodinámica de dos microcuencas en el sector Marianza [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/42595>
- Chaudhary, U., Kumari, T., Bamiri, S., & Robert, B. R. G. (2020). Sanitary gravity sewer design using sewer GEMS software connect edition for Utsav Vihar, Karala. *Small*, 1(100), 60.

- Chin, D. A. (2020). Issues in hydraulic design of sanitary sewers. *Journal of Environmental Engineering*, 146(4), 04020016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001677](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001677)
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada* (J. G. Saldarriaga, Trad.). McGraw-Hill Interamericana, S. A. (Obra original publicada en 1988).
- Climate Hazards Center - UC Santa Barbara. (2025). CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations. <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Libro 20. Alcantarillado Sanitario*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional del Agua. (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Libro 4. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- De Toffol, S., Engelhard, C., & Rauch, W. (2007). Combined sewer system versus separate system: A comparison of ecological and economical performance indicators. *Water Science and Technology*, 55(4), 255–264. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.116>
- Dietz, T., Shwom, R. L., & Whitley, C. T. (2020). Cambio climático y sociedad. *Annual Review of Sociology*, 46, 135–158. <https://doi.org/10.1146/annurev-soc-121919-054614>
- Duque, N., Duque, D., Aguilar, A., & Saldarriaga, J. (2020). Sewer Network Layout Selection and Hydraulic Design Using a Mathematical Optimization Framework. *Water*, 12(12), 3337. <https://doi.org/10.3390/w12123337>
- EADIC Engineering & Business School. (2023, 7 diciembre). SewerGEMS diseño y modelado de redes de alcantarillado - EADIC Engineering & Business School. <https://info.eadic.com/producto/sewergems-diseno-y-modelado-de-redes-de-alcantarillado/>
- Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable (EMAAP-Q). (2009). *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q* (1.ª ed.). V&M Gráficas.
- Enríquez Enríquez, J. A., & Sarmiento Cayamcela, J. L. (2023). *Diseño de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad La Playa del cantón Nabón, provincia del Azuay* [Trabajo de titulación de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Cuenca, Ecuador.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., et al. (2015). Riesgos climáticos: precipitación infrarroja con estaciones meteorológicas: un nuevo registro ambiental para el monitoreo de eventos extremos. *Sci Data*, 2, 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gao, Y., Shi, X., Jin, X., Wang, X. C., & Jin, P. (2022). Una revisión crítica de la variación de la calidad de las aguas residuales y los procesos en el alcantarillado durante su transporte en los sistemas de alcantarillado. Xi'an, Provincia de Shaanxi, China.

- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Pifo. (2024). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023. Recuperado de <https://pifo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PDOT-PIFO-signed.pdf>
- Granda Paladines, D. C. (2024). Evaluación de estimaciones satelitales de precipitación en la cuenca del río Jubones [Tesis de Maestría, Universidad Técnica de Machala].
- Hughes, J., Cowper-Heays, K., Olesson, E., Bell, R., & Stroombergen, A. (2021). Impacts and implications of climate change on wastewater systems: A New Zealand perspective. *Climate Risk Management*, 31, 100262. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.10026>
- INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (2019). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación: Actualización del estudio de lluvias intensas (Versión 2). Quito, Ecuador: Dirección de Estudios, Investigación y Desarrollo Hidrometeorológico.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1992). Código de Práctica Ecuatoriano CPE INEN 5 Parte 9-1:1992. Código Ecuatoriano de la Construcción. C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes (Primera edición). INEN.
- IPCC. (2021). Cambio climático 2021: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial.
- Jerard, B. A., Damodaran, V., Jaisankar, I., Velmurugan, A., & Swarnam, T. P. (2018). Coconut biodiversity–nature’s gift to the Tropical Islands. In *Biodiversity and climate change adaptation in Tropical Islands* (pp. 145-185). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813064-3.00006-5>
- Khatri, B., Wang, W., Pan, C., & Zhang, H. (2026). Assessment of rainfall-derived inflow and infiltration using smart sewer sensors and ensemble optimization. *Journal of Water Process Engineering*, 81, 109382. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.109382>
- López-Bermeo, C., Montoya, R. D., Caro-Lopera, F. J., & Díaz-García, J. A. (2022). Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 127, 103184. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS: Anexo 2 Documento Compilatorio. Bogotá, Colombia: Autor.
- Moeini, R., & Afshar, M. H. (2017). Arc based ant colony optimization algorithm for optimal design of gravitational sewer networks. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(2), 207-223. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.03.003>

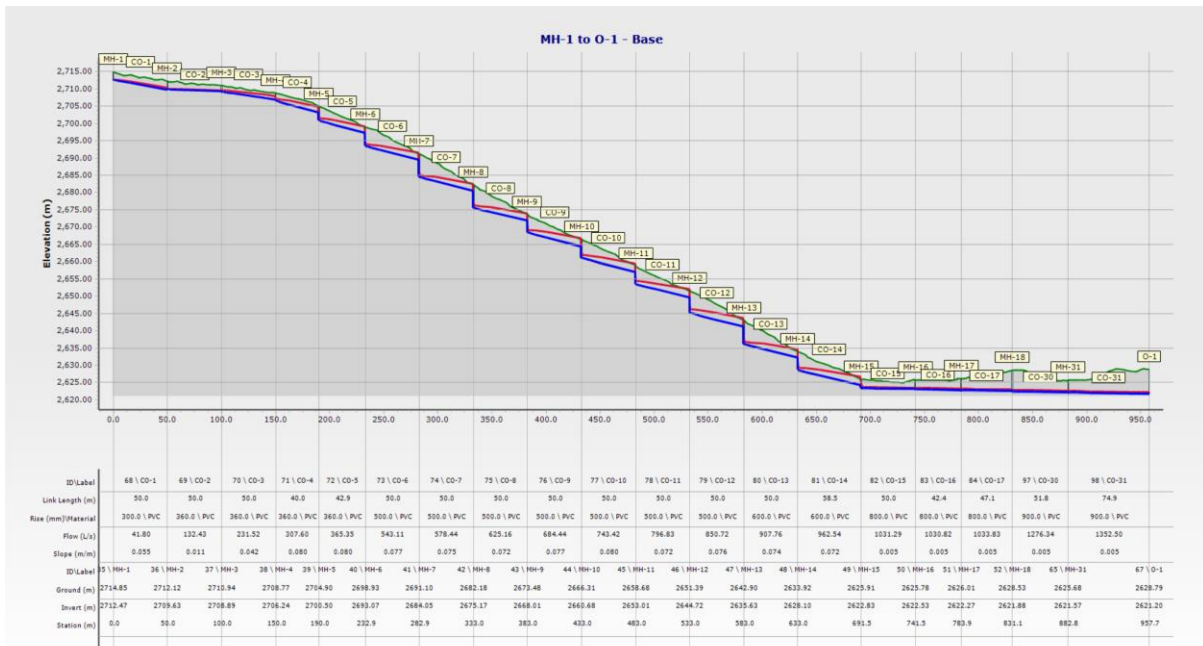
- Olds, H. T., Corsi, S. R., Dila, D. K., Halmo, K. M., Bootsma, M. J., & McLellan, S. L. (2018). High levels of sewage contamination released from urban areas after storm events: A quantitative survey with sewage specific bacterial indicators. *PLoS Medicine*, 15(7), e1002614. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002614>
- Osei, M. A., Amekudzi, L. K., Omari-Sasu, A. Y., Yamba, E. I., Quansah, E., Aryee, J. N. A., & Preko, K. (2021). Estimation of the return periods of maxima rainfall and floods at the Pra River Catchment, Ghana, West Africa using the Gumbel extreme value theory. *Heliyon*, 7(6), e06980. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06980>
- Perry, W. B., Ahmadian, R., Munday, M., Jones, O., Ormerod, S. J., & Durance, I. (2024). Addressing the challenges of combined sewer overflows. *Environmental Pollution*, 343, 123225. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123225>
- Quillupangui, R. (2023, 1 noviembre). A escala nacional el acceso a servicios básicos en el Ecuador revela un progreso gradual. Censo Ecuador; INEC. <https://www.censoecuador.gob.ec/a-escala-nacional-el-acceso-a-servicios-basicos-en-el-ecuador-revela-un-progreso-gradual/>
- Revelo Bastidas, V. S. (2013). Diseño del alcantarillado sanitario, pluvial y tratamiento de aguas servidas, de la comunidad Chávezpamba, parroquia Chávezpamba, cantón Quito, provincia de Pichincha [Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/862eb05f-bdb2-4896-871e-7314422bf46>
- Romero Freire, J. X. (2015). Diseño, programación y presupuesto de un canal de riego, considerando que la obra sea funcional, segura y estética [Trabajo práctico de examen complejo, Universidad Técnica de Machala]. Machala, Ecuador.
- Sabah, S., & Bachir, A. (2023). Manning's roughness coefficient in a truncated triangular open-channel flow section. *Water Practice & Technology*, 18(4), 845–858. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.044>
- Saldarriaga, J., Zambrano, J., Herrán, J., & Iglesias-Rey, P. L. (2021). Layout Selection for an Optimal Sewer Network Design Based on Land Topography, Streets Network Topology, and Inflows. *Water*, 13(18), 2491. <https://doi.org/10.3390/w13182491>
- Tutoriales al Día – Ingeniería Civil. (s. f.). Determinación de caudales máximos con el Método Racional. Recuperado de <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
- Verma, S. S. (2019). Developing adaptive capability of agricultural societies in the context of climate change. In *Climate Change and Agricultural Ecosystems* (pp. 433-445). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816483-9.00014-1>
- World Health Organization: WHO. (2024, 22 marzo). Saneamiento. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

- Zamanian, S., Rahimi, M., & Shafieezadeh, A. (2020). Resilience of sewer networks to extreme weather hazards: Past experiences and an assessment framework. In *Pipelines 2020* (pp. 50-59). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Zhang, Z., Ren, Y., Hu, X., Song, S., Ren, X., Li, S., & Jinsuo, L. (2025). Encounter of nanobubbles with ferrous iron: Simultaneous removal efficiency and mechanism of sulfide and methane in gravity sewer systems. *Journal of Water Process Engineering*, 79, 108879. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108879>

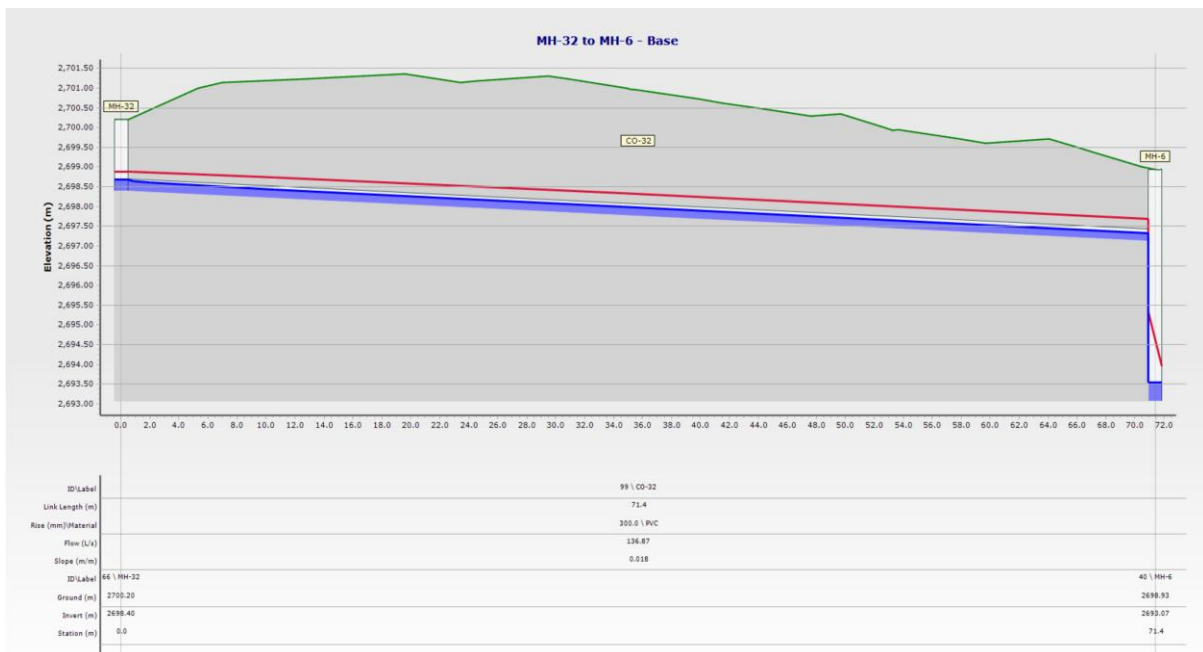
ANEXO 1

Perfiles del sistema de alcantarillado para cada periodo de retorno (5, 10, 25, 50, 100)

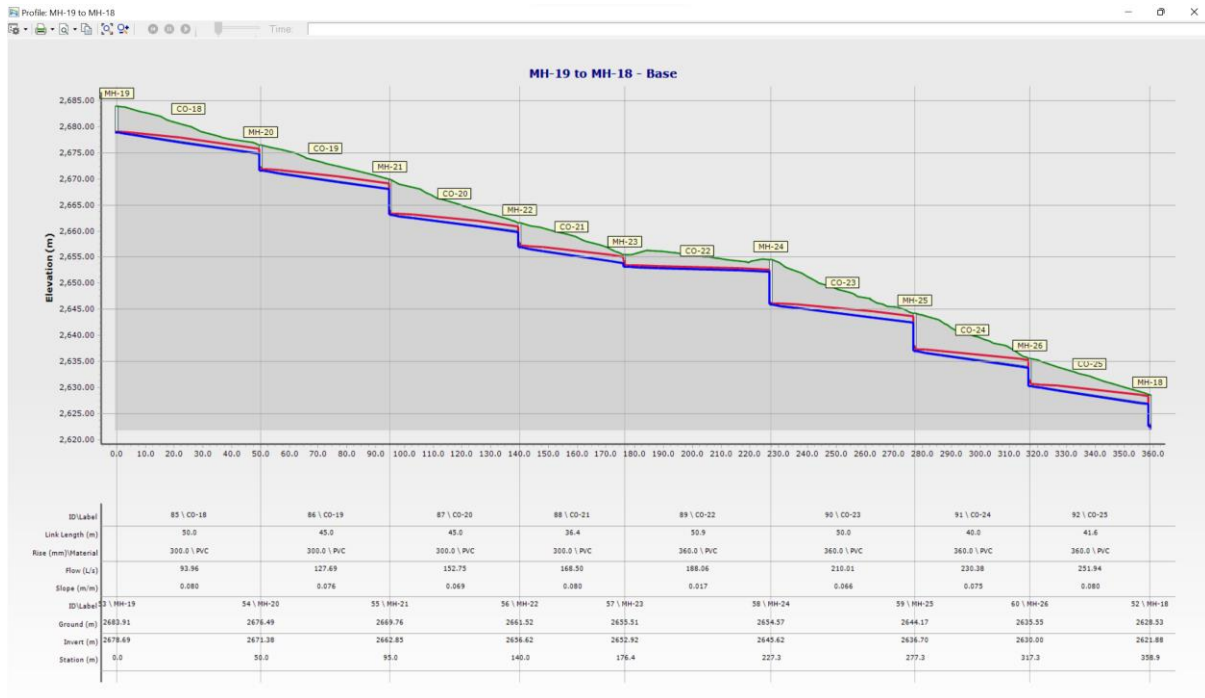
1. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años, desde POZO 1 AL DESAGUE



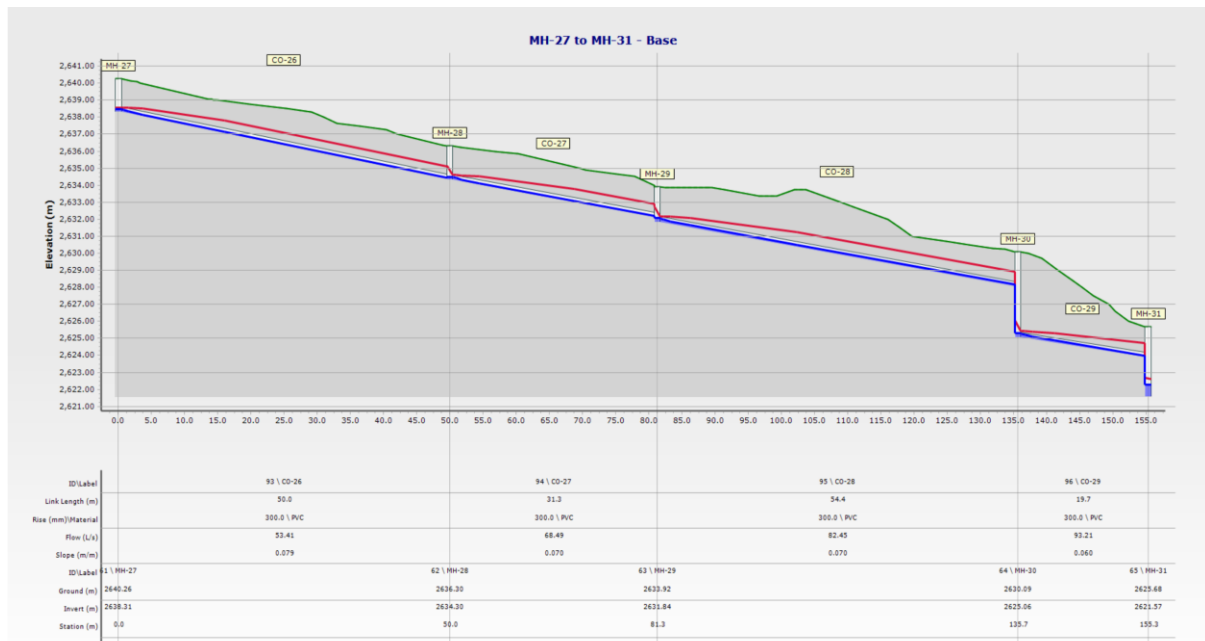
2. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años, desde POZO 32 AL POZO 6



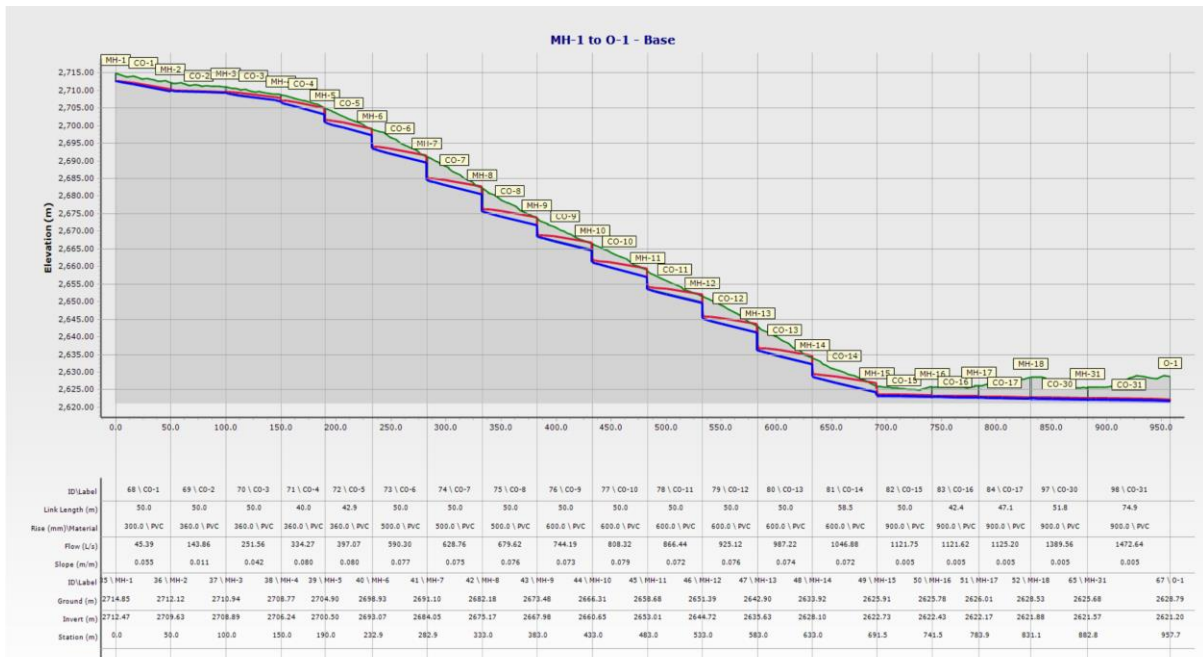
3. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años, desde POZO 19 AL POZO 18



4. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 5 años, desde POZO 37 AL POZO 31



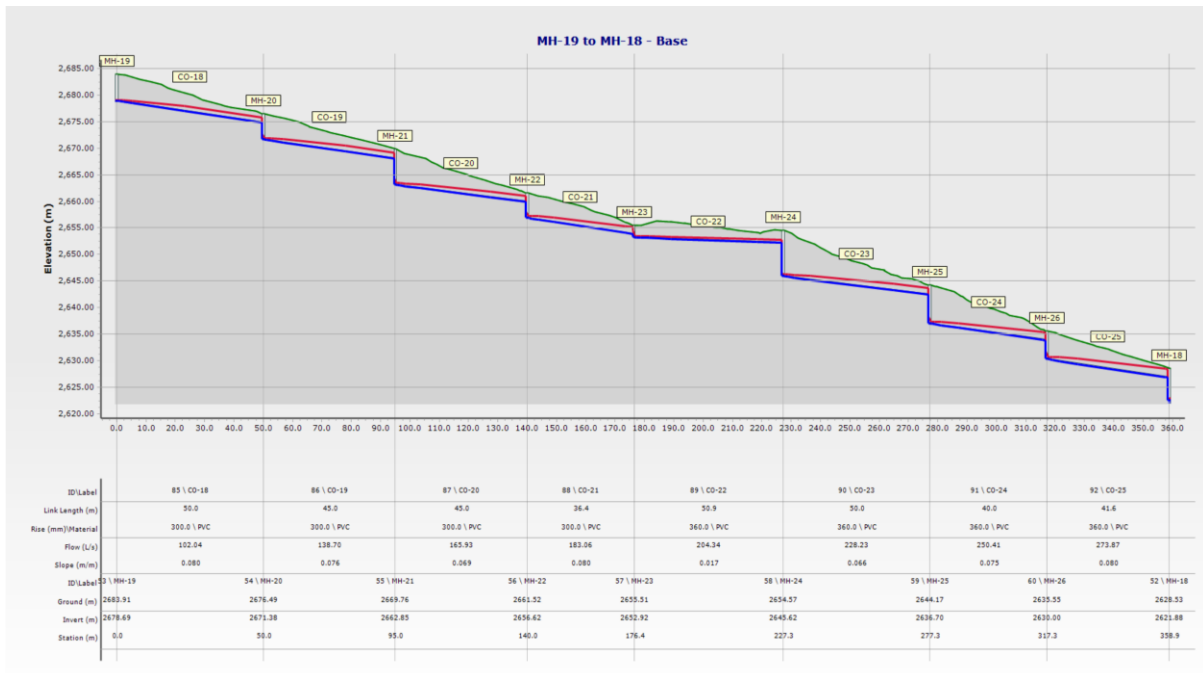
5. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años, desde POZO 1 AL DESAGUE



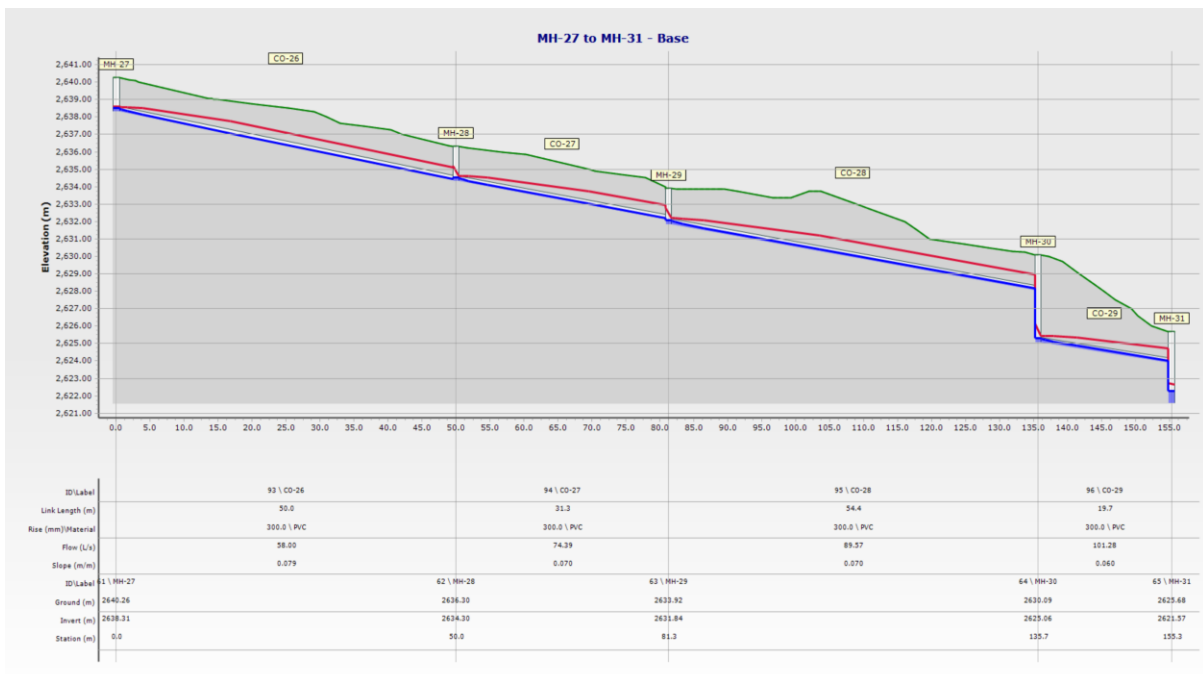
6. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años, desde POZO 32 AL POZO 6



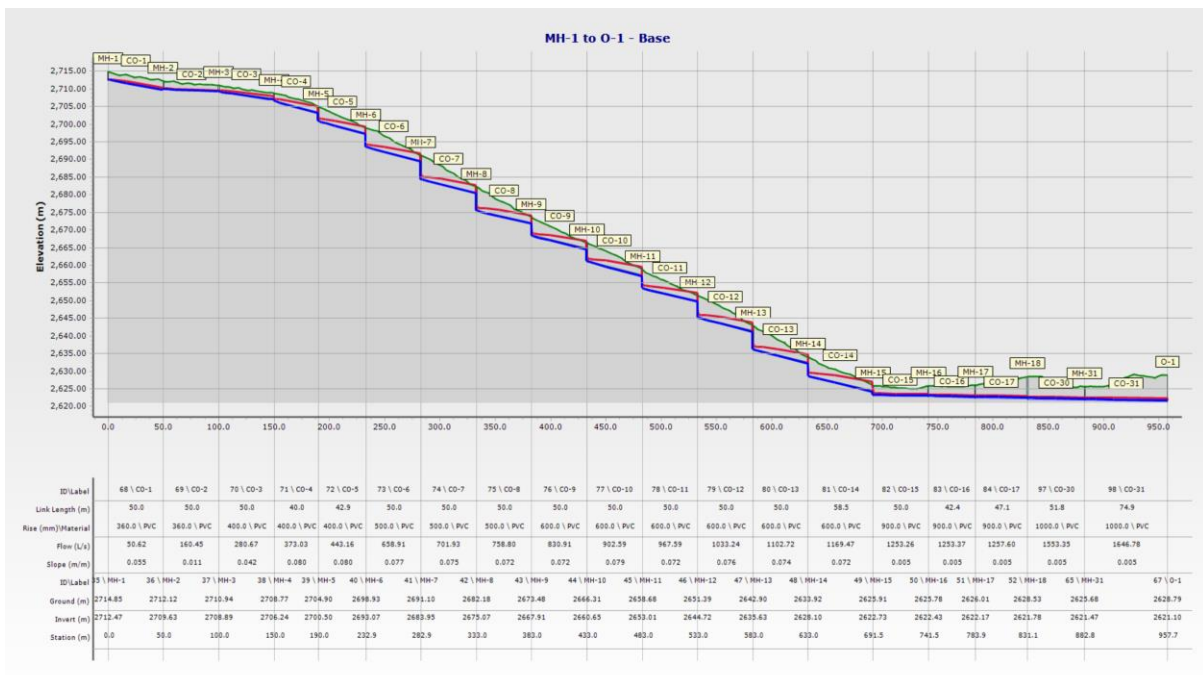
7. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años, desde POZO 19 AL POZO 18



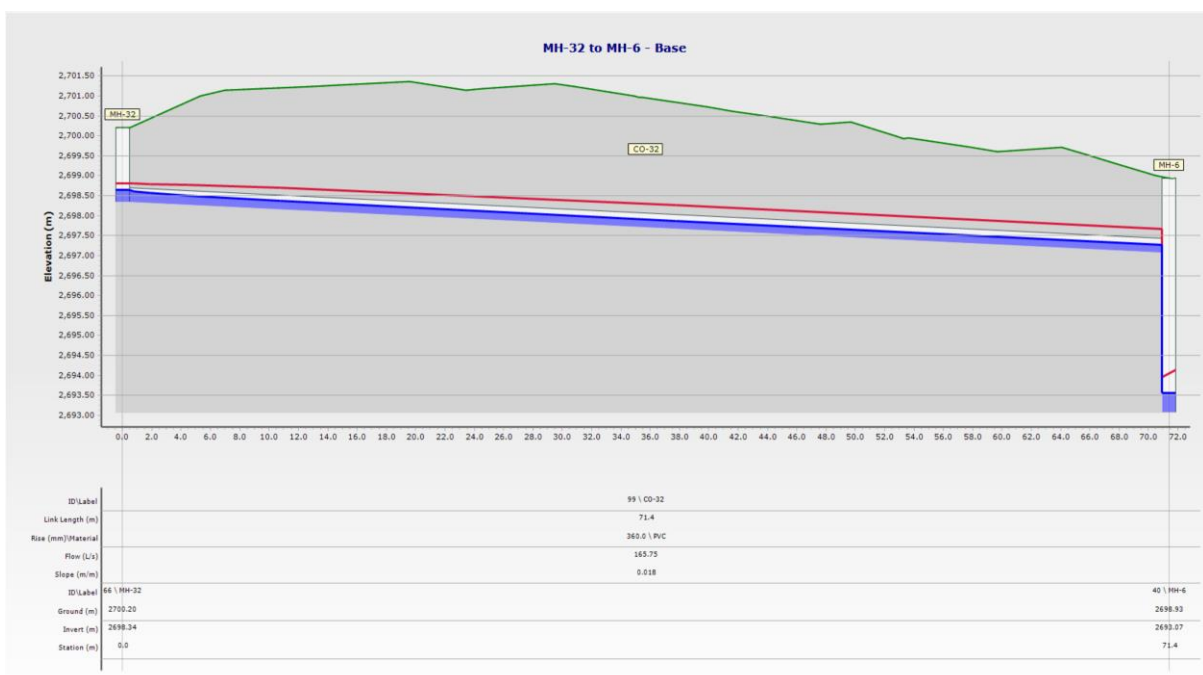
8. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 10 años, desde POZO 37 AL POZO 31



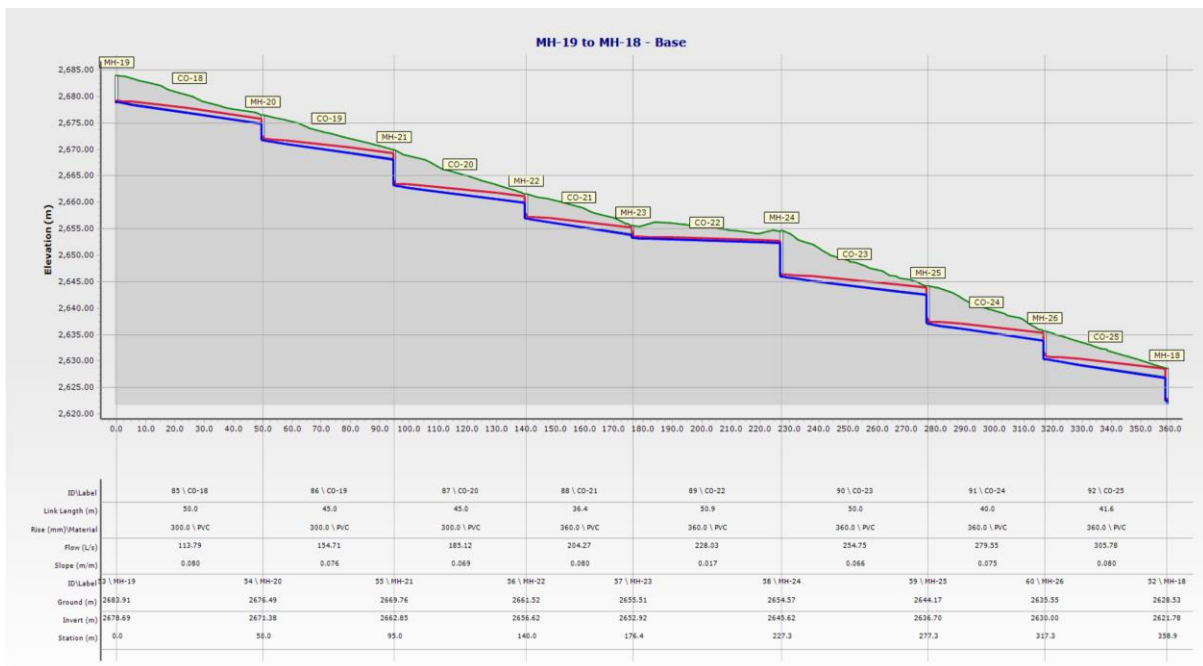
9. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 25 años, desde POZO 1 AL DESAGUE



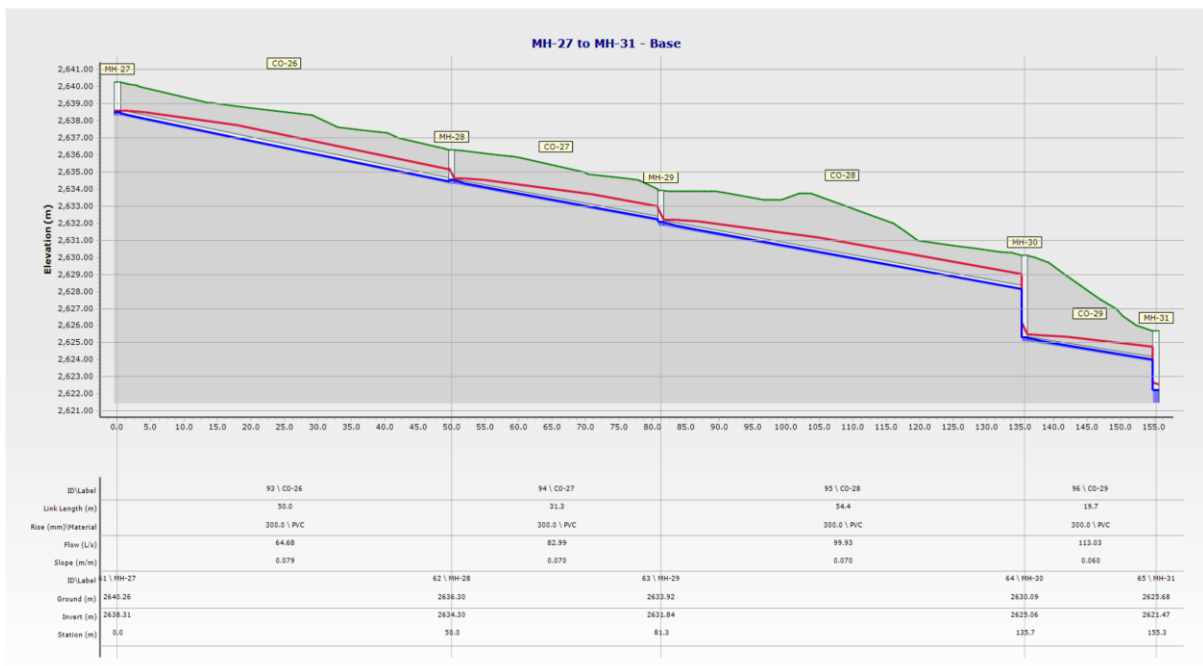
10. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 25 años, desde POZO 32 AL POZO 6



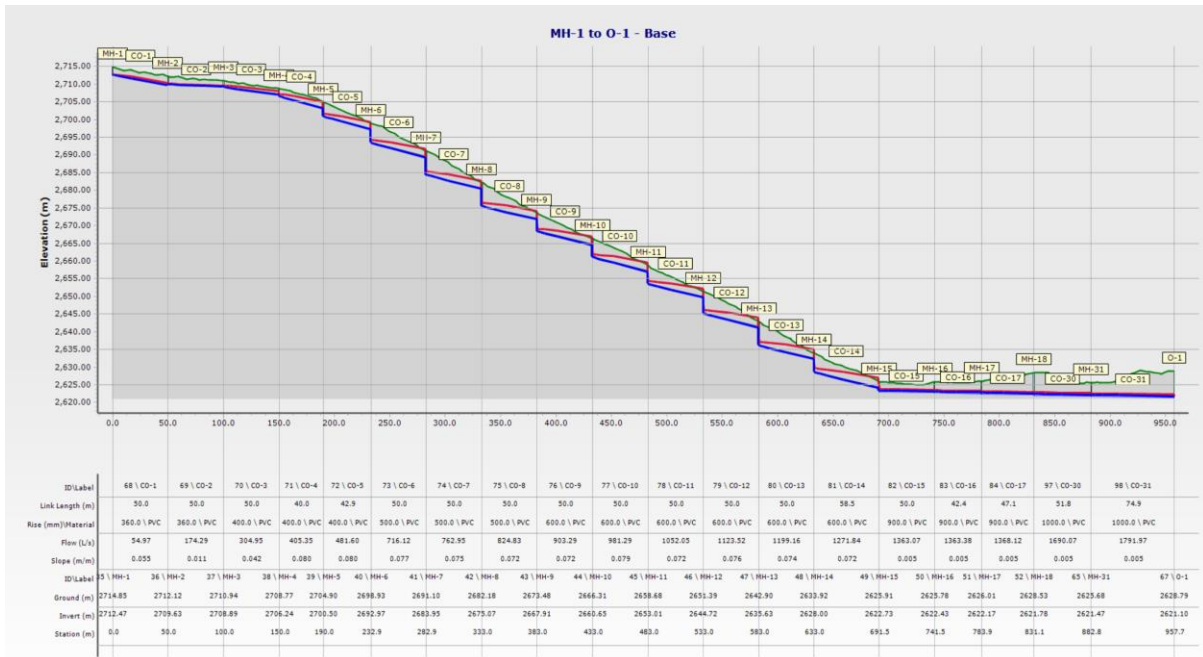
11. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 25 años, desde POZO 19 AL POZO 18



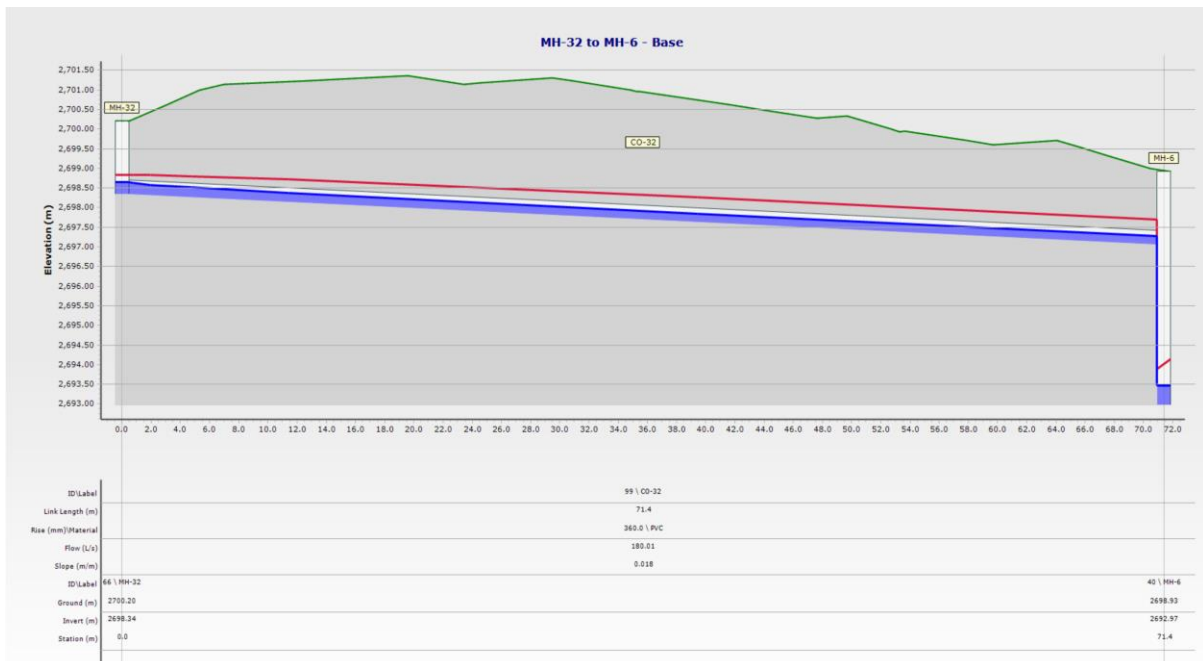
12. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 25 años, desde POZO 37 AL POZO 31



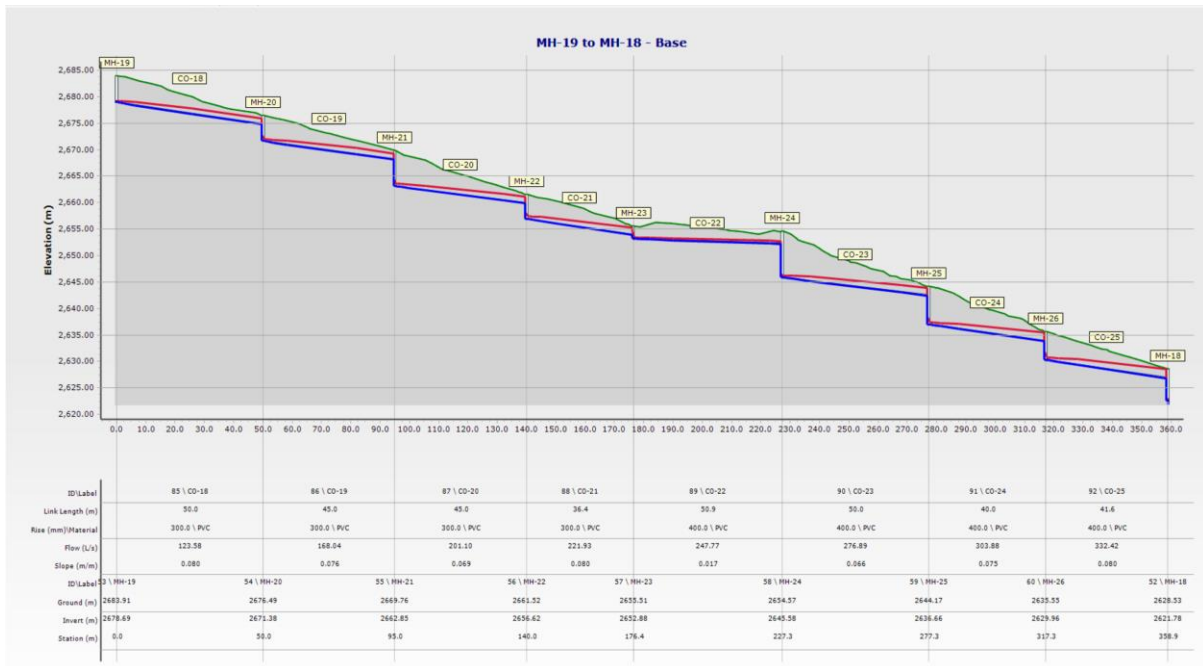
13. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 50 años, desde POZO 1 AL DESAGUE



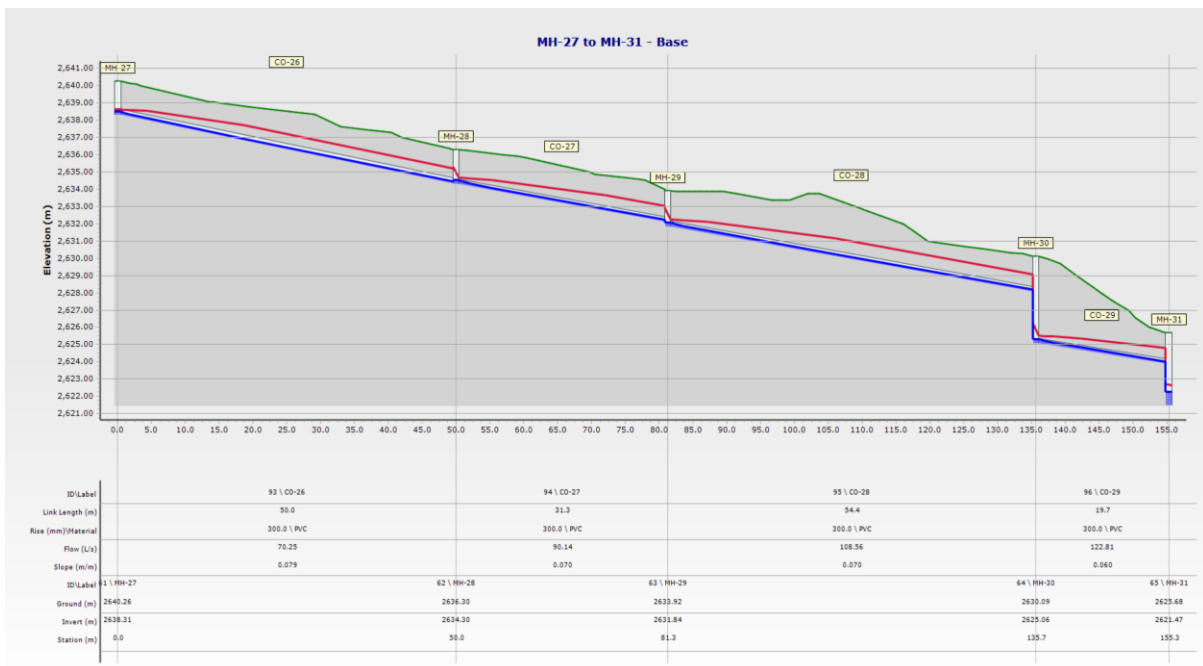
14. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 50 años, desde POZO 32 AL POZO 6



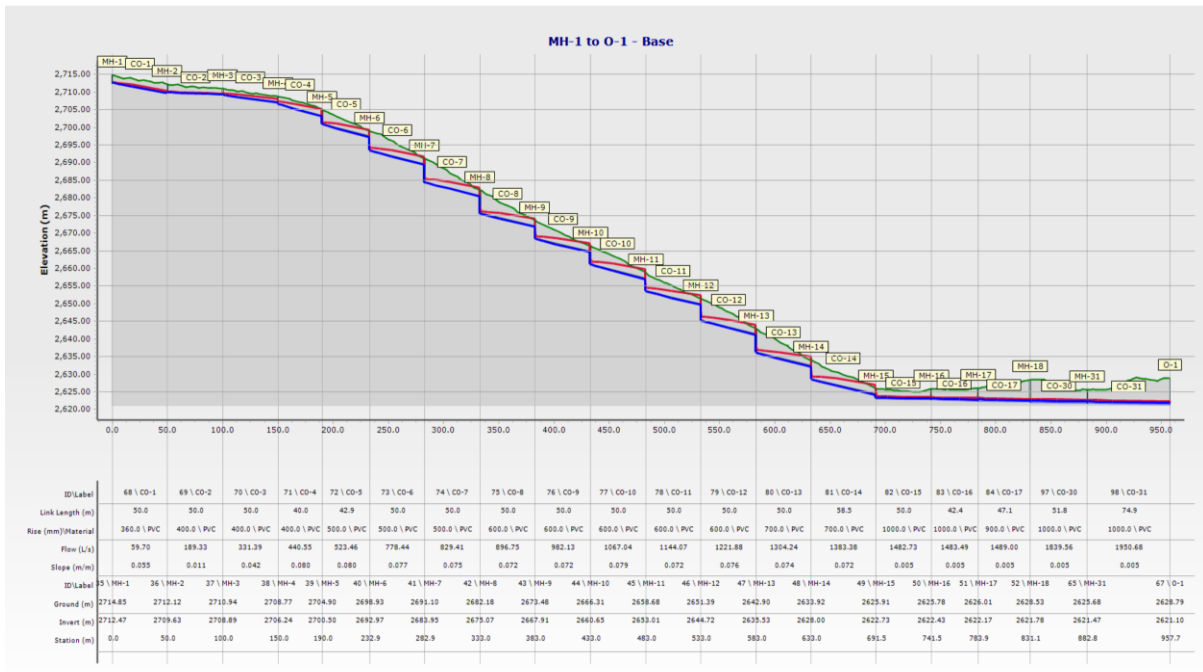
15. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 50 años, desde POZO 19 AL POZO 18



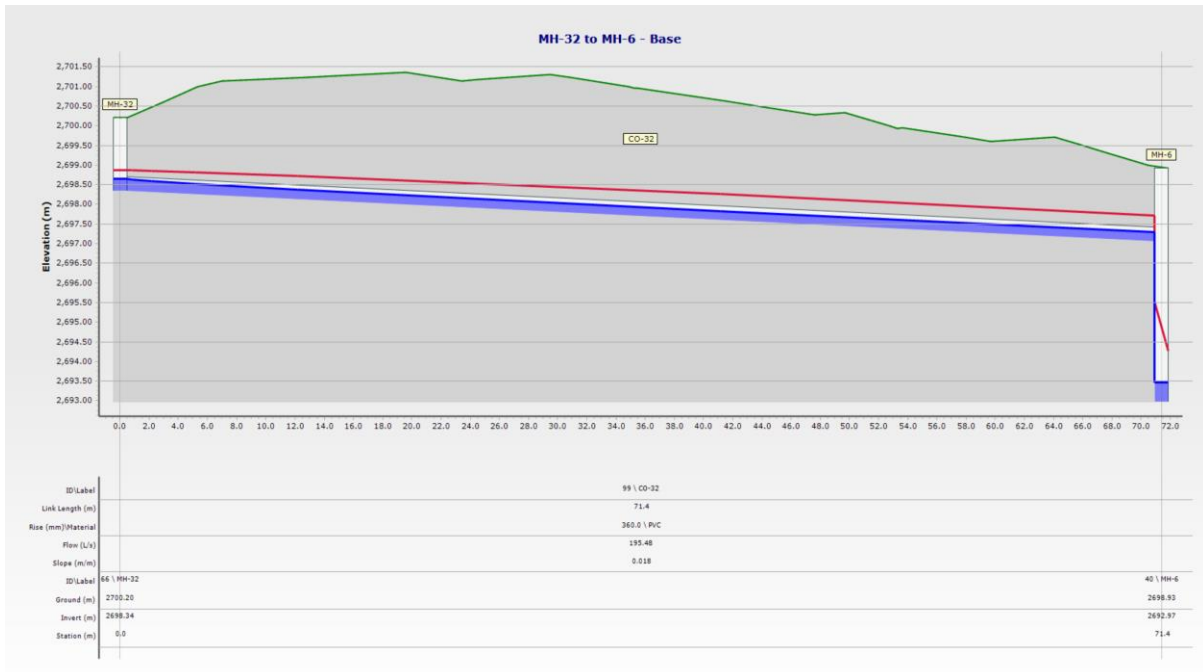
16. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 50 años, desde POZO 37 AL POZO 31



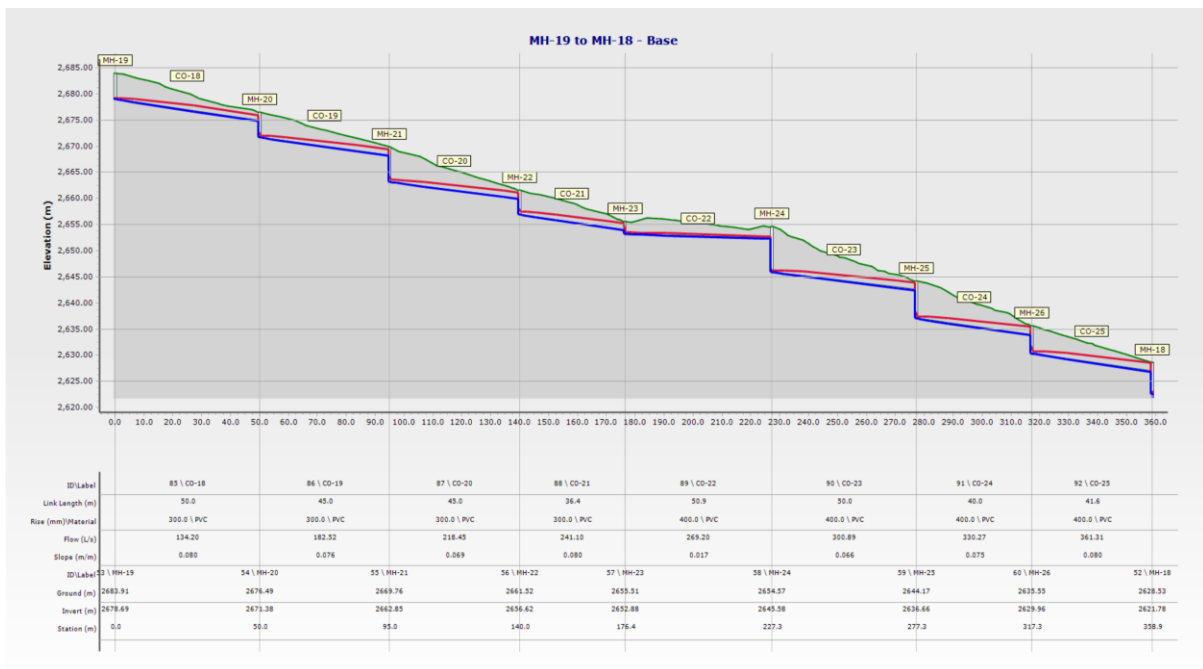
17. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 100 años, desde POZO 1 AL DESAGUE



18. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 100 años, desde POZO 32 AL POZO 6



19. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 100 años, desde POZO 19 AL POZO 18



20. Perfil del sistema de alcantarillado para un periodo de retorno de 100 años, desde POZO 37 AL POZO 31

