

República de Panamá



MINISTERIO DE
OBRAS PÚBLICAS

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

CONSULTORÍA PARA EL DISEÑO URBANO DE LAS CALLES DE ISLA COLÓN,
CIRCUNVALACIÓN COSTERA LA FERIA – BOCA DE DRAGO – PLAYA BLUFF –
PLAYA PAUNCH, SISTEMA DE BOMBEO Y REMOZAMIENTO DEL PARQUE
SIMÓN BOLÍVAR

PROVINCIA BOCAS DEL TORO

Contrato UAL-3-01-2020



CONSORCIO PROYECO-INGEOTEC

9. ESTUDIO HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO

Versión 01

Diciembre, 2020



690

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVO	2
3.	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE	2
3.1.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	2
3.2.	CLIMA DE LA ZONA	3
3.3.	PRECIPITACIÓN	4
3.4.	TEMPERATURA	4
3.5.	CARTOGRAFÍA REGIONAL	5
3.6.	TOPOGRAFÍA	8
4.	CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS	8
4.1.	DELIMITACIÓN DE CUENCAS	8
4.2.	ÁREA DE CUENCAS	11
4.3.	LONGITUD Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL	11
5.	PARÁMETROS HIDROLÓGICOS	12
5.1.	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	12
5.2.	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	12
6.	ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES	16
6.1.	PERIODO DE RETORNO	16
6.2.	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	17
6.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN	17
6.4.	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)	24
7.	CAUDALES DE DISEÑO	25

8.	ESTUDIO HIDRÁULICO	28
8.1.	SISTEMA DE DRENAJE DE LA ZONA UBRANA	28
8.1.1.	CONSIDERACIONES GENERALES	28
8.1.2.	CRITERIOS DE DISEÑO	28
8.1.3.	DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN	31
8.1.4.	ELABORACIÓN DEL MODELO	34
8.1.5.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS	35
8.1.6.	RESULTADOS	51
8.2.	SISTEMA DE DRENAJE DE LA CIRCUNVALACIÓN COSTERA	68
8.2.1.	CRITERIOS DE DISEÑO	68
8.2.2.	CAUDAL DE DISEÑO	73
8.2.3.	CÁLCULO HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL TRAMO LA FERIA A PLAYA PAUNCH	76
8.2.4.	CÁLCULO DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL TRAMO BIG CREEK A BOCA DEL DRAGO	76
8.2.5.	RESUMEN DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL DE LA CIRCUNVALACIÓN COSTERA	78
8.2.6.	DRENAJE LONGITUDINAL	80
9.	ANÁLISIS DE FLOTABILIDAD	81
10.	ANÁLISIS DE INUNDACIÓN	83
10.1.	MODELO HIDRÁULICO	85
10.2.	MODELADO GEOMÉTRICO DE LA ZANJA	85
10.3.	PARÁMETROS DE DISEÑO	87
10.3.1.	CAUDAL DE DISEÑO	87

10.3.2. PENDIENTE	87
10.3.3. COEFICIENTE DE MANNING	88
10.4. RESULTADOS.....	88
10.4.1. ÁREA DE INUNDACIÓN.....	100
10.5. INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR.....	102
11. CONCLUSIONES	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estaciones meteorológicas.....	2
Ilustración 2. Zonas climáticas	3
Ilustración 3. Mapa de isoyetas anuales.	4
Ilustración 4. Mapa de isotermas promedio anual.....	5
Ilustración 5. Cartografía nacional disponible en el área de estudio.	6
Ilustración 6. Mapa 3744 II SW.	6
Ilustración 7. Mapa 3744 III NE.....	7
Ilustración 8. Mapa 3744 III SE.	7
Ilustración 9. División de cuencas, Isla Colón.	9
Ilustración 10. Subcuencas, Fase A.....	10
Ilustración 11. Usos de suelo de Isla Colón.	15
Ilustración 12. División de área urbana en zonas principales.	32
Ilustración 13. División de zona interna en sub zonas.	33
Ilustración 14. Detalle de cordón canal.	33
Ilustración 15. Detalle de acera canal.	34
Ilustración 16. División de sub zona interna en áreas aferentes.	36
Ilustración 17. Ubicación del canal pluvial existente.	43
Ilustración 18. Interferencias del alcantarillado sanitario con el alcantarillado pluvial propuesto.	46

Ilustración 19. Perfil de Ramal 56 (Avenida F).....	49
Ilustración 20. Perfil de Colector 01 (Calle Sexta).....	49
Ilustración 21: Elementos Geométricos de sección rectangular.....	67
Ilustración 22: Elementos geométricos de sección circular.....	71
Ilustración 23: Características del flujo en una sección de circular.....	72
Ilustración 24: Elementos Geométricos de sección rectangular.....	72
Ilustración 25: Elementos Geométricos de una sección triangular.....	80
Ilustración 26: Elementos Geométricos de una sección triangular asimétrica	80
Ilustración 27: Elementos Geométricos de sección rectangular.....	81
Ilustración 28. Canal de aguas pluviales de Calle 6ta, Calles internas.	84
Ilustración 29. Zanja de estudio en zona urbana.	84
Ilustración 30. Avenida central en 1903, antes de los rellenos del manglar y las obras de saneamiento.	85
Ilustración 31. Modelado geométrico en HEC-GEORAS.	86
Ilustración 32. Visualización del modelado geométrico en HEC-RAS.....	87
Ilustración 33. Secciones transversales seleccionadas para mostrar el perfil.....	96
Ilustración 34. Perfil de inundación 772.4232.	97
Ilustración 35. Perfil de inundación 628.816.	97
Ilustración 36. Perfil de inundación 510.844.	98
Ilustración 37. Perfil de inundación 308.0691.	99
Ilustración 38. Perfil de inundación 110.1481.	99
Ilustración 39. Vista de la mancha de inundación para un período de retorno de 100 años.	101
Ilustración 40. Vista en 3D de la mancha de inundación para un período de retorno de 100 años.	102
Ilustración 41. Zonas vulnerables a ser afectadas por el aumento del nivel del mar.	104
Ilustración 42. Vista de la zona urbana de Isla Colón con el nivel normal del mar.....	105
Ilustración 43. Vista de la zona urbana de Isla Colón con el nivel del mar incrementado a 112 mm.	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía (C) en Chow et al (1988).	14
Tabla 2. Registros máximos diarios de precipitación por mes y año.	18
Tabla 3. Datos mensuales de precipitación máxima diaria por mes y año (mm).	19
Tabla 4. Datos mensuales de precipitación máxima diaria por año (mm).	20
Tabla 5. Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias.	21
Tabla 6. Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.	22
Tabla 7. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.	22
Tabla 8. Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración.	23
Tabla 9. Ecuaciones de cálculo de la intensidad de lluvia según fórmulas del MOP para la Vertiente del Atlántico.	24
Tabla 10. Resultados por cuenca, Fase A.	26
Tabla 11. Áreas aferentes dentro de la red de alcantarillado pluvial.	36
Tabla 12. Resumen de áreas aferentes drenantes hacia el canal pluvial existente.	43
Tabla 13. Resumen de resultados de modelado del canal.	45
Tabla 14. Localización y cotas de CIS de red sanitaria en interferencia con alcantarillado pluvial.	46
Tabla 15. Resumen de resultados hidráulicos de alternativa de sistema cerrado.	47
Tabla 16. Resumen de resultados hidráulicos para alternativa de sistema abierto mejorado.	50
Tabla 17. Resultados Zona Sur.	52
Tabla 18. Resultados Zona Norte.	61
Tabla 19. Caudales de Diseño para T 1:50 año, tramo La FERIA-Playa Paunch.	73
Tabla 20. Caudales de Diseño para T 1:50 año, tramo Big Creek- Boca del Drago.	73
Tabla 21. Cajones típicos, tramo La FERIA-Playa Paunch y tramo Big Creek – Boca del Drago.	74
Tabla 22. Obras especiales, tramo La FERIA-Playa Paunch y tramo Big Creek – Boca del Drago.	75
Tabla 23. Resultados hidráulicos de las obras de drenaje transversal (ODTs), tramo La FERIA – Playa Paunch.	76
Tabla 24. Resultados hidráulicos de las obras de drenajes transversal (ODTs), tramo Big Creek- Boca del Drago.	76

Tabla 25. Resumen de obras de drenajes transversal (ODTs), tramo La FERIA – Playa Paunch.....	78
Tabla 26. Resumen de obras de drenajes transversal (ODTs), tramo Big Creek- Boca del Drago....	78
Tabla 27. Resultados de análisis de flotabilidad.	82
Tabla 28. Coeficientes de Manning recomendados por el MOP	88
Tabla 29. Resultados del modelado a 25 años.....	89
Tabla 30. Resultados del modelado a 50 años.....	91
Tabla 31. Resultados del modelado a 100 años.....	93

1. INTRODUCCIÓN

Como parte del proyecto denominado “CONSULTORÍA PARA EL DISEÑO URBANO DE LAS CALLES DE ISLA COLÓN, CIRCUNVALACIÓN COSTERA LA FERIA – BOCA DE DRAGO – PLAYA BLUFF – PLAYA PAUNCH, SISTEMA DE BOMBEO Y REMOZAMIENTO DEL PARQUE SIMÓN BOLÍVAR, PROVINCIA DE BOCAS DEL TORO” con contrato UAL-3-01-2020, se entienden todos aquellos estudios, investigaciones, levantamientos y diseños necesarios para la futura construcción.

El presente documento contiene el estudio hidrológico e hidráulico realizado sobre la Fase A del proyecto en referencia, el cual abarca las siguientes zonas:

- Calles internas de Isla Colón
- Circunvalación Costera La FERIA – Boca de Drago – Playa Paunch
 - Tramo Existente La FERIA – Playa Paunch
 - Tramo Existente Big Creek - Boca de Drago

Asimismo, se manifiesta la obtención de los gastos de diseño y parámetros hidrológicos necesarios para el dimensionamiento de obras de drenaje, estación de bombeo pluvial y determinación de las áreas inundables en la zona urbana de Isla Colón. Para desarrollar el alcance indicado se abarcan los siguientes aspectos:

- ✓ Analizar la información hidrológica existente.
- ✓ Analizar la información pluviográfica existente.
- ✓ Identificar y generar las características fisiográficas de las cuencas que intervienen en el proyecto.
- ✓ Identificar los parámetros hidrológicos que afectan la obtención de las de los caudales de diseño.
- ✓ Calcular los gastos de diseño para dimensionar las obras de drenaje transversal y longitudinal.
- ✓ Dimensionar las obras de drenaje.

2. OBJETIVO

La finalidad del presente documento es presentar los criterios del estudio hidrológico y las estimaciones de los escurrimientos de las cuencas de aporte que influyen en el alineamiento del proyecto, a partir de dicho estudio y la ubicación de las obras de drenaje, se determinan las estructuras derivadas que permitan el correcto funcionamiento de las vías, asegurando a su vez la vida útil del proyecto.

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

3.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Dentro de las estaciones meteorológicas satelitales de ETESA se encuentra la estación de "Isla Bocas", ubicada en Isla Colón.

Ilustración 1. Estaciones meteorológicas.



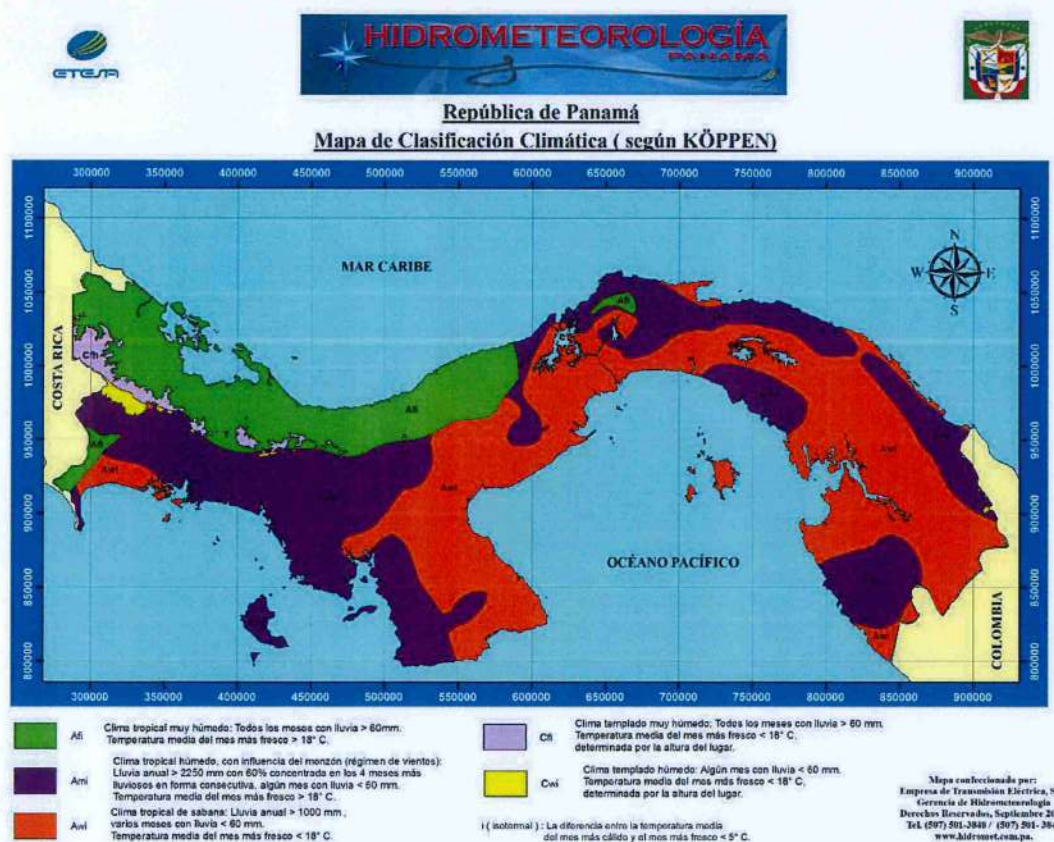
Fuente: Departamento de Hidrometeorología de ETESA.

A su vez, se ubica un sitio de investigación del Smithsonian Tropical Research Institute en la mencionada isla. Ambas estaciones serán utilizadas en el desarrollo del presente estudio.

3.2. CLIMA DE LA ZONA

Con base en la Ilustración 2, se distinguen las siguientes zonas térmicas o Climáticas en Panamá, clasificación basada en las definiciones climáticas de Köppen, Sapper y Lauer de acuerdo al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año:

Ilustración 2. Zonas climáticas.



Fuente: Departamento de Hidrometeorología de ETESA.

El clima predominante en la región de estudio, según la clasificación, es el Tropical muy húmedo, Afi, que se caracteriza por presentar precipitaciones mayores a los 60 mm todos los meses. Adicionalmente, se destaca que la temperatura media del mes más fresco es > 18° C.

3.3. PRECIPITACIÓN

Las lluvias de nuestro país se caracterizan por ser muy intensas y de corta duración, aunque con cierta frecuencia se observan períodos secos durante de la temporada lluviosa, la zona de estudio está ubicada entre los 3201 a 3300 mm anuales.

Ilustración 3. Mapa de isoyetas anuales.

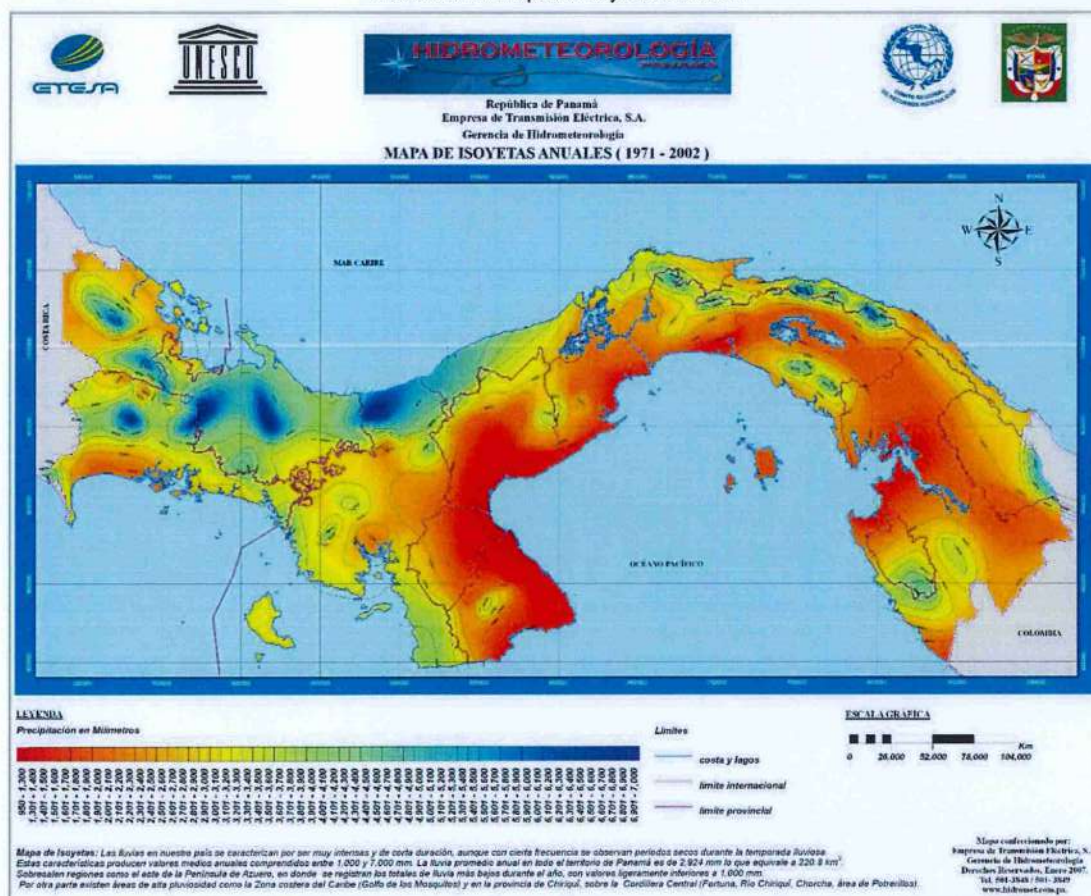
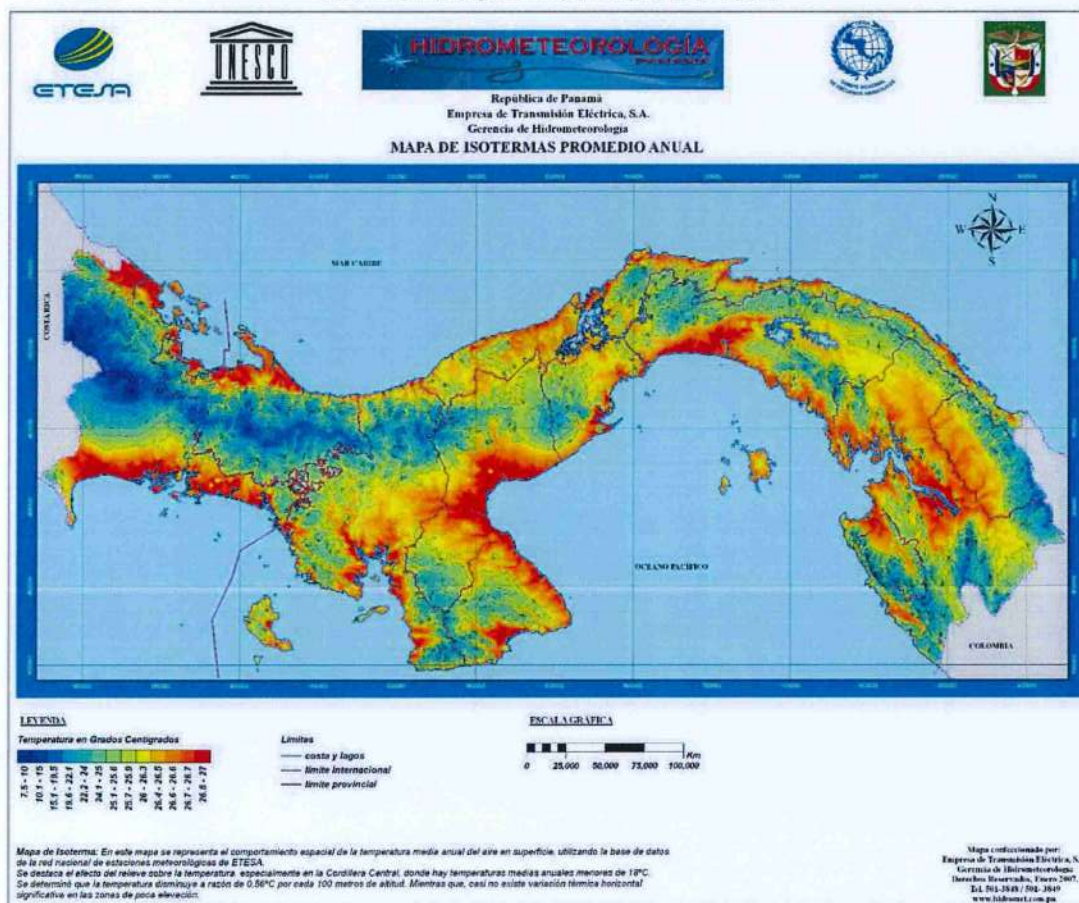


Ilustración 4. Mapa de isotermas promedio anual.



Fuente: Departamento de Hidrometeorología de ETESA.

3.5. CARTOGRAFÍA REGIONAL

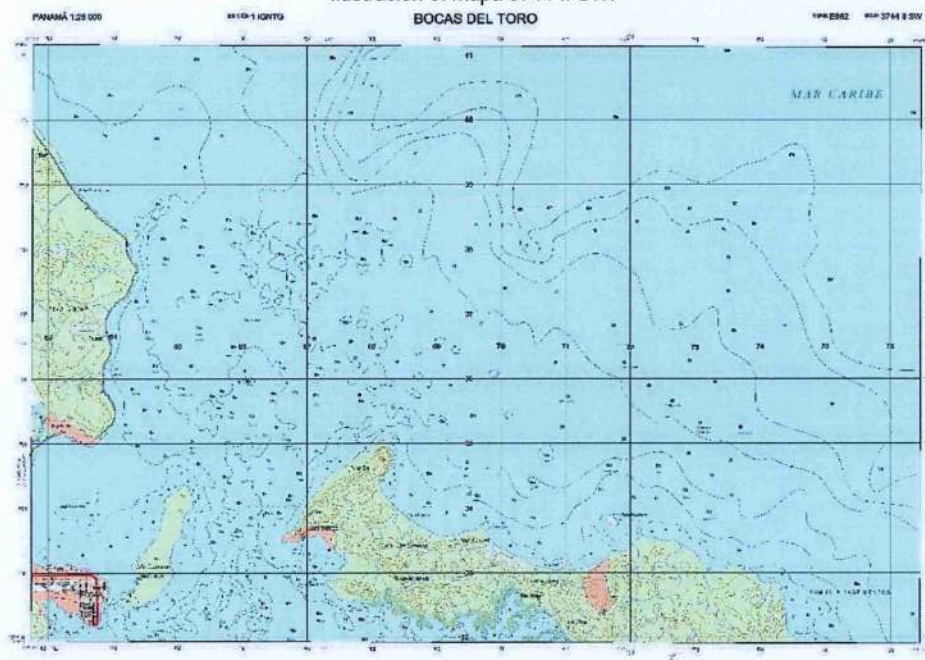
Para el desarrollo del presente estudio hidrológico, se consultó la base de datos del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG), misma que cuenta con mapas detallados del país generalmente utilizados para estudios hidrológicos, los cuales son empleados como referencia en el presente estudio.

Ilustración 5. Cartografía nacional disponible en el área de estudio.



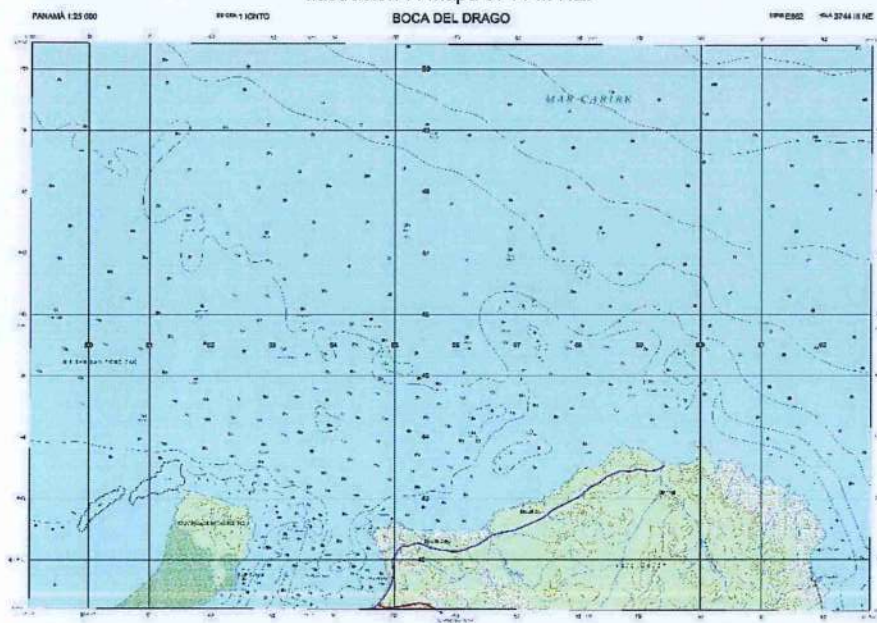
Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Ilustración 6. Mapa 3744 II SW.



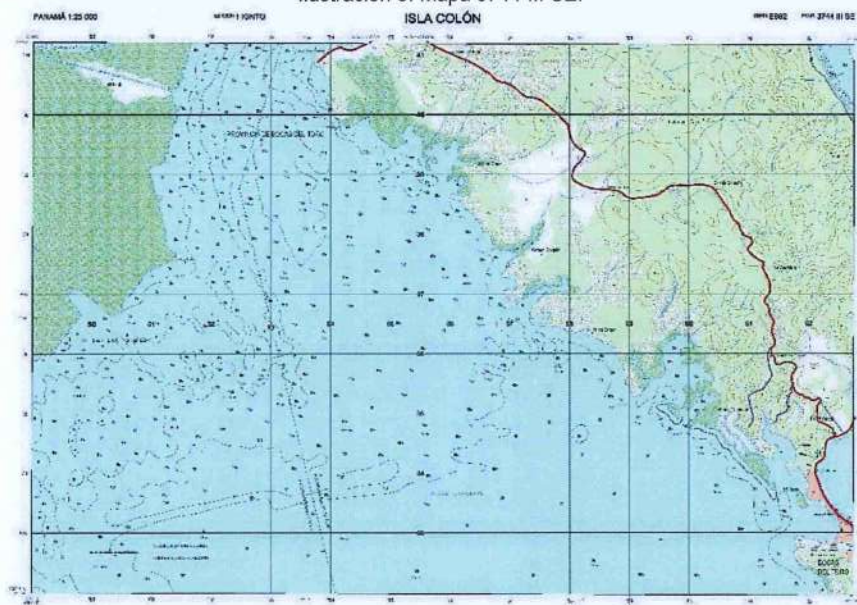
Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Ilustración 7. Mapa 3744 III NE.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

Ilustración 8. Mapa 3744 III SE.



Fuente: Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.

3.6. TOPOGRAFÍA

Similar a los mapas del IGNTG antes presentados, se emplea un modelo digital de terreno o MDT de la zona de estudio, el mismo fue realizado por el IGNTG como partida para la elaboración de los mapas actualmente disponibles. Adicionalmente, se complementa dicha fuente con el levantamiento topográfico realizado.

4. CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS

4.1. DELIMITACIÓN DE CUENCAS

La delimitación de las cuencas del presente estudio se realiza a partir de una modelación mediante la herramienta HEC GeoHMS, la misma emplea como insumo el modelo digital del terreno (MDT) de 5 metros de resolución indicado en el apartado 3.6 para luego realizar un relleno de los posibles desperfectos y zonas vacías en el MDT, este proceso se hace para tener un raster de alturas continuo. Posteriormente, se calculan las direcciones de flujo y las acumulaciones de flujo que están en función de las alturas. Con estos insumos se obtiene las cuencas en los sitios de interés, siendo las cuencas finalmente ajustadas tomando como referencia los mapas del IGNTG.

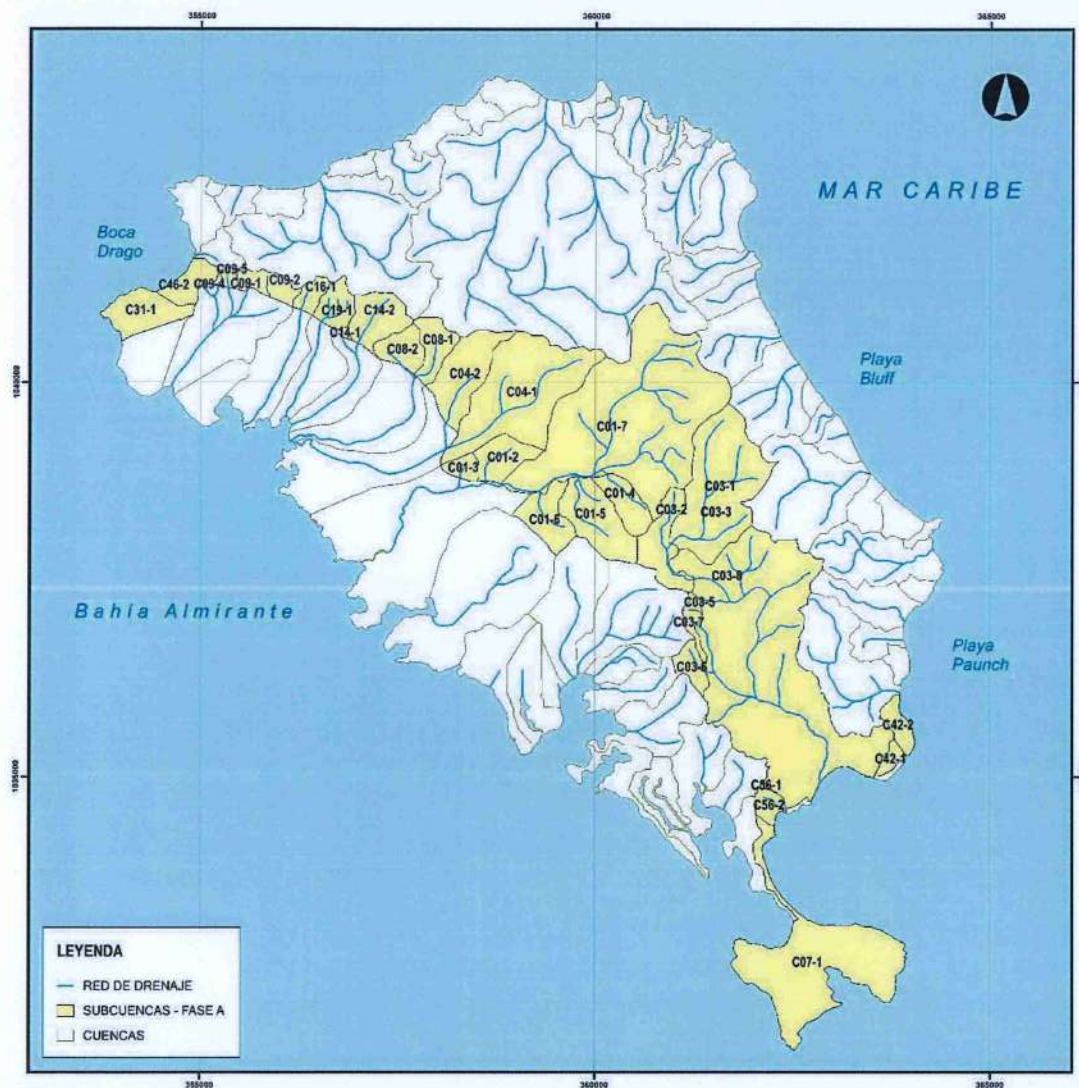
Una vez realizado el proceso, se obtienen 67 cuencas en la isla numeradas con base al área de drenaje. En la Ilustración 10 se extraen las cuencas que intervienen en el área de alcance de la Fase A, las mismas se han definido tomando como límite la vialidad del proyecto.

Ilustración 9. División de cuencas, Isla Colón.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Projeco-Ingeotec.

Ilustración 10. Subcuencas, Fase A.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

4.2. ÁREA DE CUENCAS

Existen cuencas que no cuentan con un cauce definido, así como otras que drenan hacia el mar. Éstas se analizarán de forma independiente como áreas de aporte para drenajes longitudinales cuando aplique, empleando un tiempo de concentración mínimo definido en el acápite 5.1.

Una vez delimitadas las cuencas mediante SIG, se obtienen las áreas de cada subcuenca que interviene en el proyecto.

4.3. LONGITUD Y PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL

Una vez delimitadas las subcuencas que intervienen en el proyecto, se procede a trazar el cauce principal de cada una de ellas para obtener la longitud del cauce principal. Por otro lado, el cálculo de la pendiente se realiza aplicando la expresión de Taylor-Schwarz con la que se determinan las variaciones de las pendientes a lo largo del cauce seleccionando los tramos de igual pendiente, dicha expresión se presenta a continuación:

$$Sc = \left(\frac{L}{\sum_{j=1}^N \frac{L_j}{\sqrt{Sc_j}}} \right)^2$$

Donde:

Sc = Pendiente media del cauce principal.

Scj = Pendiente del tramo j.

L = Longitud del cauce principal, desde su origen hasta su cruce con el eje de la obra, en m.

Lj = Longitud del tramo j, en m.

N = Número de tramos

5. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

5.1. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

Para el desarrollo del presente estudio, se ha empleado la fórmula de Bransby Williams y, adicionalmente, en las cuencas sin un cauce definido se empleará un Tc conservador de 10 minutos.

$$tc = \frac{L}{1.5D} \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración, en min.

L = Distancia máxima a la salida, en Km

D = Diámetro del círculo de área equivalente a la superficie de la cuenca, en Km²

M = Área de la cuenca, en Km²

F = Pendiente media del cauce principal, en %

5.2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total.

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (E_s) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos valores se le denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{Es}{P}$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del terreno (granulometría, micro relieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que se considere (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores entre cero y uno.

$$0 \leq C \leq 1$$

En el presente estudio, se aplica un valor mínimo de 0.5 para áreas boscosas o no desarrolladas tomando como base el cálculo del coeficiente en función de los usos de suelo de cada cuenca y un valor de 0.85 para el diseño de drenajes en el área urbana del proyecto según estipulado en el Pliego de Cargos. Sobre las áreas no desarrolladas, se aplica la fórmula propuesta por el autor Ven Te Chow, donde se analiza el tipo de suelo en la zona y la pendiente del terreno para obtener un coeficiente adecuado al área de estudio.

La presencia de vegetación, su densidad, estructura, altura, tiempo de instalación y permanencia son determinantes en el proceso de infiltración (o en su reverso: la formación de escorrentía superficial). La velocidad de infiltración en suelos forestales es muy superior a la de suelos urbanos. Ello se debe al elevado contenido de materia orgánica de los suelos que soportan vegetación natural, a la acción de las raíces primarias y secundarias creando innumerables canalillos hasta el subsuelo. En el extremo opuesto se encuentran los terrenos más antropizados (suelos urbanos e industriales, o vías de comunicación), que incluyen proporciones elevadas de suelos impermeabilizados (Martínez de Azagra y Navarro, 1996).

La pendiente aumenta el coeficiente de escorrentía, pues una misma microtopografía embalsa más agua en terrenos tendidos que en terrenos empinados. A su vez, al aumentar la escorrentía superficial, crece la erosión hídrica, que lima el micro relieve del terreno, alisando la ladera y reduciendo las micro

depresiones. Ambos motivos explican la dependencia del coeficiente de escorrentía (C) de la pendiente.

Tabla 1. Coeficientes de escorrentía (C) en Chow et al (1988).

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)					
	2	5	10	25	50	100
Zonas urbanas						
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)						
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>						
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>						
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>						
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51
Zonas rurales						
Campos de cultivo						
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54
Pastizales, prados, dehesas						
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53
Bosques, montes arbolados						
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52

Fuente: Elaborado por Consorcio Proyeco-Ingeotec.

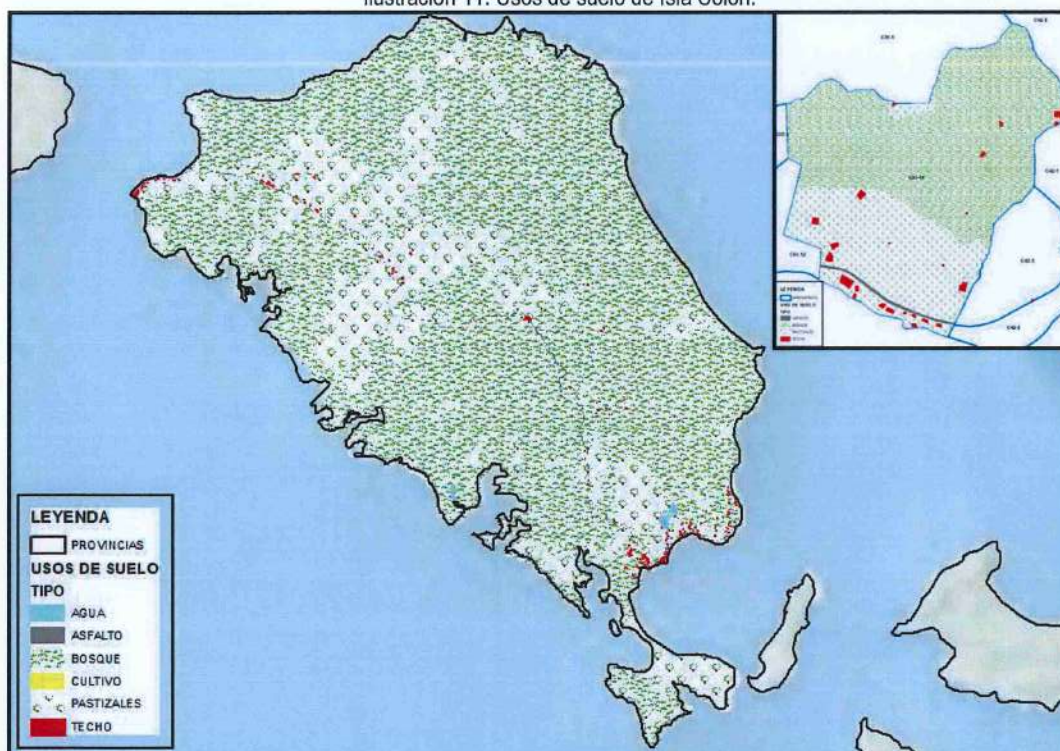
Para la definición de los usos de suelos se realizó interpretaciones de imágenes satelitales con 30 centímetros de resolución y para la obtención de las cuencas hidrográficas, estos análisis de realizaron a través del software de sistemas de información geográfica ArcGis v10.5.

Con las cuencas determinadas se procedió a realizar un análisis de usos del suelo y cobertura boscosa, este proceso se realizó tomando como base la capa oficial de MiAmbiente del año 2012 y actualizando esta información mediante el uso de imágenes satelitales de alta resolución actuales, las definiciones realizadas para poder emplear la fórmula recomendada por Ven Te Chow incluye las siguientes clasificaciones:

1. Asfalto. representa las vías de comunicaciones.

2. Cemento, tejados. Representa las zonas habitadas donde existan construcciones hechas por el hombre.
3. Zonas verdes. Principalmente en las zonas urbanas se refiere a césped, parques, entre otros. Esta depende de la pendiente existente.
4. Campos de cultivo. Para zonas rurales, representa los terrenos destinados a cultivos permanentes y es dependiente de las pendientes del terreno.
5. Pastizales. Para zonas rurales, representa las zonas con vegetación baja o vegetación aislada, es dependiente de la pendiente del terreno.
6. Bosques. Para zonas rurales, representa las zonas con vegetación densa, Monter arbolados, manglares, depende de la pendiente existente.

Ilustración 11. Usos de suelo de Isla Colón.



Fuente: Elaborado por Consorcio Proyec-Ingeotec.

Con función a esta clasificación de suelos se obtuvo la capa para la zona de Isla Colón y se procedió a obtener esta información para cada cuenca con el fin de calcular los valores de área en hectáreas representado por cada uso del suelo. Asimismo, se aplica la pendiente media del cauce obtenida con la ecuación de Taylor-Schwarz.

Con los parámetros antes mencionados se procede a aplicar la fórmula del coeficiente de escorrentía para cada cuenca:

$$C = \frac{\text{Superficie característica del suelo (Has)} \times \text{coeficiente de escorrentía}}{\text{Área de la cuenca total (has)}}$$

6. ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES

Estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal es motivo de interés con diversas finalidades, a la vez que se puede proporcionar índices para realizar estudios de crecidas o permitir la alimentación de modelos de precipitación - escorrentía que garanticen mejorar la información disponible, con miras a un diseño y un dimensionamiento adecuados de las obras civiles.

6.1. PERIODO DE RETORNO

El intervalo de recurrencia, periodo de retorno, o frecuencia, (T_r), se define como el tiempo o número de años en el que, en promedio, se presenta un evento extremo.

El presente estudio determina los periodos de retorno de 1:10, 1:20, 1:25, 1:30, 1:50 y 1:100 años, de los cuales se destacan los periodos de retorno establecidos en el Pliego de Cargos en función de las obras incluidas en el proyecto:

- Puentes: 1:100 años
- Cajones pluviales, cauces de ríos y quebradas: 1:50 años
- Alcantarillas tubulares, aliviaderos, zanjas, canal: 1:20 años
- Sistema de bombeo pluvial: 1:25 años

6.2. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

En el área de Isla Colón, se ubica la estación de ETESA ubicada en los alrededores del aeropuerto y un sitio de investigación del Smithsonian Tropical Research Institute (STRI), ambos registran datos pluviográficos que servirán de partida para obtener los caudales del proyecto, para ello, se ha accedido a la base de datos disponible en la web. Ambas fuentes de datos, dada su cercanía, se utilizan para complementar los datos de lluvias máximas diarias.

Se resume la información de ambas estaciones en la Tabla 2. Se destaca que se emplean los datos máximos diarios registrados de ambas estaciones.

6.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN

Para el análisis estadístico de precipitación, se emplea el método estadístico de Gumbel, el cual emplea las máximas lluvias diarias registradas. Inicialmente, se procede a extraer de las estaciones disponibles las precipitaciones mencionadas, las cuales se resumen mediante la Tabla 3.

Tabla 2. Registros máximos diarios de precipitación por mes y año.

Año	Registros del STRI												Registros de ETESA											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1989													58.3	72.7	59.6	67	79.2	53.3	51.6	28.8	23.2	30.2	17.1	196.5
1990													67.2	20.7	30.5	81.6	96.3	75.3	87	105.1	70.6	97	50	79.6
1991													27.4	22.7	38	60.5	75.2	117.3	81.9	80.5	77.8	44.8	33.6	84.1
1992													14.9	61.8	51.3	190.7	86.7	14.1	63.9	56.4	62.2	105.2	26.9	71
1993													62.2	12.8	106.2	89.3	16.6	34.2	134.8	51.6	105.3	45.3	33.3	93.4
1994													31.4	24.2	65.3	24.4	73.2	87	185.6	32.7	41.4	66	65.5	109.8
1995													16.8	24.2	59.4	63.7	82.2	74	21.8	26.4	31.1	24.4	70	51.8
1996													99.9	61.3	91.1	37	164.3	60	47.1	36.6	31.3	88.4	49.8	82.8
1997													38.3	78.7	16.8	102	69.4	85.4	56.1	142.9	15.4	62.4	180.1	62.2
1998													19.2	35.2	84.4	85	90.9	71.9	69.3	70.2	41.6	11.3	59.7	118.2
1999													29.6	52.5	34.5	120	56.8	60.4	85.5	31.4	36.4	61.6	84.6	244.7
2000													103.3	41.1	24	81	88.8	120.6	76.2	37.8	102.8	58.6	71.2	90
2001																								
2002					53.34	55.88	81.28	124.46	35.56	40.64	231.14	43.18												
2003	17.78	27.94	45.72	48.26	154.94	68.58	33.02	101.6	27.94	25.4	53.34	86.36												
2004	38.1	35.56	55.88	119.38	109.22	58.42	93.98	45.72	38.1	48.26	142.24	134.62												
2005	134.62	20.32	22.86	127	0	63.23	89.38	109.73	40.89	63.75	89.59	50.78												
2006	100.3	22.34	82.79	61.19	22.61	47.75	59.43	72.37	33.27	54.09	38.59	139.9												
2007	64.47	12.92	12.69	50.25	55.1	47.47	83.26	76.45	24.88	37.81	74.14	101.79												
2008	46.97	56.87	27.17	31.47	42.15	23.37	89.89	90.93	45.96	27.18	227.07	39.85												
2009	71.08	114.52	149.83	36.79	163.55	29.46	53.06	69.31	40.36	99.26	63.99	61.17												
2010	100.27	53.85	117.55	89.13	76.96	76.44	27.68	69.6	51.05	17.52	88.14	114.82												
2011	47.75	149.58	169.66	42.65	65.03	26.13	89.15	27.4	50.03	44.17	24.36	98.29												
2012	37.32	26.14	55.87	30.98	25.14	138.16	119.39	32	33.51	29.43	102.81	62.98												
2013	18.03	36.28	30.71	45.2	44.17	117.82	101.12	14.21	51.31	34.26	75.41	83.3												
2014	55.35	29.95	23.86	42.11	114.52	70.33	96.24	75.66	56.63	63.21	79.49	104.9												
2015	71.6	53.598	61.976	101.08	152.65	55.882	159.26	97.542	49.788	55.874	54.61	57.652												
2016	28.704	124.46	25.146	74.934	20.32	83.564	68.84	60.444	64.772	70.104	71.37	55.626												
2017	73.63	18.52	44.68	10.64	72.61	103.61	56.13	44.44	40.9	37.34	149.6													
2018	108.22	76.97	40.64	72.64	49.28	100.59	119.89	47.5	59.1	100	90.3	43.4												
2019	18.2	28.71	34.8	165.35	101.35	66.294	42.926	88.388	95.256	29.97	150.88	256.8												

Fuente: Elaborado por Consorcio Proyecco-Ingeotec.

Tabla 3. Datos mensuales de precipitación máxima diaria por mes y año (mm).

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Máximo
1989	58.30	72.70	59.60	67.00	79.20	53.30	51.60	28.80	23.20	30.20	17.10	196.50	196.50
1990	67.20	20.70	30.50	81.60	96.30	75.30	87.00	105.10	70.60	97.00	50.00	79.60	105.10
1991	27.40	22.70	38.00	60.50	75.20	117.30	81.90	80.50	77.80	44.80	33.60	84.10	117.30
1992	14.90	61.80	51.30	190.70	86.70	14.10	63.90	56.40	62.20	105.20	26.90	71.00	190.70
1993	62.20	12.80	106.20	89.30	16.80	34.20	134.80	51.60	105.30	45.30	33.30	93.40	134.80
1994	31.40	24.20	65.30	24.40	73.20	87.00	185.60	32.70	41.40	66.00	65.50	109.80	185.60
1995	16.80	24.20	59.40	63.70	82.20	74.00	21.80	26.40	31.10	24.40	70.00	51.80	82.20
1996	99.90	61.30	91.10	37.00	164.30	60.00	47.10	36.60	31.30	88.40	49.80	82.80	164.30
1997	38.30	78.70	16.80	102.00	69.40	85.40	56.10	142.90	15.40	62.40	180.10	62.20	180.10
1998	19.20	35.20	84.40	85.00	90.90	71.90	69.30	70.20	41.60	11.30	59.70	118.20	118.20
1999	29.60	52.50	34.50	120.00	56.80	60.40	85.50	31.40	36.40	61.60	84.60	244.70	244.70
2000	103.30	41.10	24.00	81.00	88.80	120.60	76.20	37.80	102.80	58.60	71.20	90.00	120.60
2002					53.34	55.88	81.28	124.46	35.56	40.64	231.14	43.18	231.14
2003	17.78	27.94	45.72	48.26	154.94	68.58	33.02	101.60	27.94	25.40	53.34	86.36	154.94
2004	38.10	35.56	55.88	119.38	109.22	58.42	93.98	45.72	38.10	48.26	142.24	134.62	142.24
2005	134.62	20.32	22.86	127.00	0.00	63.23	89.38	109.73	40.89	63.75	89.59	50.78	134.62
2006	100.30	22.34	82.79	61.19	22.61	47.75	59.43	72.37	33.27	54.09	38.59	139.90	139.90
2007	64.47	12.92	12.69	50.25	55.10	47.47	83.26	76.45	24.88	37.81	74.14	101.79	101.79
2008	46.97	56.87	27.17	31.47	42.15	23.37	89.89	90.93	45.96	27.18	227.07	39.85	227.07
2009	71.08	114.52	149.83	36.79	163.55	29.46	53.06	69.31	40.36	99.26	63.99	61.17	163.55
2010	121.60	62.20	190.40	89.13	76.96	76.44	27.68	88.80	51.05	38.30	88.14	123.60	190.40
2011	68.40	149.58	169.66	42.65	86.80	37.20	101.80	37.80	61.40	48.80	28.30	126.00	169.66
2012	37.32	38.70	55.87	36.00	41.60	138.16	119.39	56.80	33.51	29.43	102.81	62.98	138.16
2013	18.03	60.20	30.71	70.00	54.60	135.80	101.12	14.21	51.31	34.26	77.90	83.30	135.80
2014	55.35	29.95	23.86	42.11	114.52	70.33	96.24	75.66	70.00	63.21	79.49	104.90	114.52
2015	71.60	79.20	61.98	101.08	152.65	59.50	185.00	97.54	62.50	55.87	54.61	57.65	185.00
2016	28.70	124.46	26.00	74.93	25.00	113.00	68.84	60.44	64.77	70.10	71.37	55.63	124.46
2017	73.63	18.52	44.68	10.64	72.61	103.61	56.13	44.44	40.90	31.75	37.34	149.60	149.60
2018	108.22	76.97	40.64	72.64	49.28	100.59	119.89	47.50	59.10	100.00	90.30	43.40	119.89
2019	18.20	28.71	34.80	165.35	101.35	66.29	42.93	88.39	95.26	29.97	150.88	256.80	256.80
Máximo	134.62	149.58	190.40	190.70	164.30	138.16	185.60	142.90	105.30	105.20	231.14	256.80	256.80

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

La ley de distribución de frecuencias de Gumbel se utiliza para el estudio de los valores extremos. Por ejemplo, si hemos elegido el día más caudaloso o de mayor precipitación de cada año de una serie de años. La probabilidad de que se presente un valor inferior a x es:

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

para los límites, $-\infty \leq x \leq \infty$

Donde:

e = base de los logaritmos neperianos

x = media aritmética de la muestra

Los parámetros se estiman de la siguiente manera:

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

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

Donde:

s = Desviación Estándar

α y μ = variables

Para tal, se obtiene la distribución de probabilidades pluviométricas:

Tabla 4. Datos mensuales de precipitación máxima diaria por año (mm).

Nº	Año	Mes de máxima precipitación	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1989	Diciembre	196.50	1534.96
2	1990	Agosto	105.10	2727.07
3	1991	Junio	117.30	1601.71
4	1992	Abril	190.70	1114.13
5	1993	Julio	134.80	507.21
6	1994	Julio	185.60	799.68
7	1995	Mayo	82.20	5643.22
8	1996	Mayo	164.30	48.70
9	1997	Noviembre	180.10	518.86
10	1998	Diciembre	118.20	1530.48
11	1999	Diciembre	244.70	7635.02
12	2000	Junio	120.60	1348.46
13	2002	Noviembre	231.14	5449.19
14	2003	Mayo	154.94	5.67
15	2004	Noviembre	142.24	227.45
16	2005	Enero	134.62	515.35

Nº	Año	Mes de máxima precipitación	Precipitación (mm)	
			xi	(xi - x) ²
17	2006	Diciembre	139.90	303.51
18	2007	Diciembre	101.79	3083.74
19	2008	Noviembre	227.07	4864.87
20	2009	Mayo	163.55	38.80
21	2010	Marzo	190.40	1094.19
22	2011	Marzo	169.66	152.24
23	2012	Junio	138.16	367.16
24	2013	Junio	135.80	463.17
25	2014	Mayo	114.52	1831.96
26	2015	Julio	185.00	766.10
27	2016	Febrero	124.46	1079.61
28	2017	Diciembre	149.60	59.62
29	2018	Julio	119.89	1401.11
30	2019	Diciembre	256.80	9895.59
-	-	Suma	4719.6	56608.9

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Con ello, se realiza el cálculo de las variables antes mencionadas:

$$\bar{x} = 157.32 \text{ mm}$$

$$a = 34.45 \text{ mm}$$

$$S = 44.18 \text{ mm}$$

$$\mu = 137.44 \text{ mm}$$

El cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables se realiza para distintas frecuencias en la siguiente tabla:

Tabla 5. Cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintas frecuencias.

Periodo de Retorno	Variable Reducida	Precipitación (mm)	Probabilidad de ocurrencia	Corrección de intervalo fijo
Años	YT	XT'(mm)	F(xT)	XT (mm)
2	0.3665	150.0636	0.5000	169.5718
5	1.4999	189.1083	0.8000	213.6924
10	2.2504	214.9593	0.9000	242.9040
25	3.1985	247.6221	0.9600	279.8130
50	3.9019	271.8533	0.9800	307.1942
75	4.3108	285.9374	0.9867	323.1092
100	4.6001	295.9055	0.9900	334.3732

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Las relaciones o cocientes a la lluvia de 24 horas se emplean para duraciones de varias horas. Campos A. propone los siguientes cocientes:

Tabla 6. Valores concluidos para las relaciones a la lluvia de duración 24 horas.

Duraciones, en horas									
1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
0.30	0.39	0.46	0.52	0.57	0.61	0.68	0.80	0.91	1.00

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

Estos datos serán obtenidos como un porcentaje de los resultados de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada período de retorno, diferentes porcentajes de este valor según los tiempos de duración de lluvia adoptados.

Tabla 7. Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.

Tiempo de Duración	Cociente	P.M.P. (mm) para diferentes tiempos de duración Sg. Periodo de Retorno						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años
24 hr	X24	169.57	213.69	242.90	279.81	307.19	323.11	334.37
18 hr	X18 = 91%	154.31	194.46	221.04	254.63	279.55	294.03	304.28
12 hr	X12 = 80%	135.66	170.95	194.32	223.85	245.76	258.49	267.50
8 hr	X8 = 68%	115.31	145.31	165.17	190.27	208.89	219.71	227.37
6 hr	X6 = 61%	103.44	130.35	148.17	170.69	187.39	197.10	203.97
5 hr	X5 = 57%	96.66	121.80	138.46	159.49	175.10	184.17	190.59
4 hr	X4 = 52%	88.18	111.12	126.31	145.50	159.74	168.02	173.87
3 hr	X3 = 46%	78.00	98.30	111.74	128.71	141.31	148.63	153.81
2 hr	X2 = 39%	66.13	83.34	94.73	109.13	119.81	126.01	130.41
1 hr	X1 = 30%	50.87	64.11	72.87	83.94	92.16	96.93	100.31

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

Con base en los resultados de la anterior tabla, y los tiempos de duración adoptados, se obtiene la intensidad equivalente para cada caso, según:

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

Donde:

P = profundidad de lluvia, en mm o pulgada.

Td = duración, en h.

Tabla 8. Intensidades de lluvia para diferentes tiempos de duración.

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	75 años	100 años
24 hr	1440	7.0655	8.9038	10.1210	11.6589	12.7998	13.4629	13.9322
18 hr	1080	8.5728	10.8033	12.2801	14.1461	15.5304	16.3350	16.9044
12 hr	720	11.3048	14.2462	16.1936	18.6542	20.4796	21.5406	22.2915
8 hr	480	14.4136	18.1639	20.6468	23.7841	26.1115	27.4643	28.4217
6 hr	360	17.2398	21.7254	24.6952	28.4477	31.2314	32.8494	33.9946
5 hr	300	19.3312	24.3609	27.6911	31.8987	35.0201	36.8345	38.1185
4 hr	240	22.0443	27.7800	31.5775	36.3757	39.9352	42.0042	43.4685
3 hr	180	26.0010	32.7662	37.2453	42.9047	47.1031	49.5434	51.2706
2 hr	120	33.0665	41.6700	47.3663	54.5635	59.9029	63.0063	65.2028
1 hr	60	50.8715	64.1077	72.8712	83.9439	92.1583	96.9328	100.3120

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

La representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia, Sg. Bernard es:

$$i = \frac{a * T^b}{t^c}$$

Donde:

i = intensidad, en mm/h.

T = Periodo de retorno, en años.

t = Duración de la lluvia, en minutos.

a , b y c = Parámetros de ajuste.

Finalmente, la ecuación de intensidad resulta en:

$$i = \frac{624.4575 * T^{0.151472}}{t^{0.61639}}$$

Donde:

i = intensidad, en mm/h.

T = Periodo de retorno, en años.

t = Tiempo de concentración, en minutos.

6.4. CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)

La intensidad de la lluvia y su duración son características que están interrelacionadas: para un mismo periodo de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia, disminuye su intensidad media. La formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, sobre la base de los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otras zonas próximas con características hidrometeorológicas similares. Esta formulación se conoce como relación intensidad – duración – frecuencia o, más comúnmente, como curvas IDF.

Las curvas IDF, resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de duración diferente, correspondientes a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978). Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos que han de considerarse, tales como la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de cierto evento; por ello, es de suma importancia tener claro el concepto de cada variable, en aras de tener una visión más precisa de estas curvas.

El Ministerio de Obras Públicas en su Manual de Requisitos y Normas Generales recomienda el uso de las fórmulas presentadas en el Estudio de Consultoría "Diseño del Sistema Pluvial de la Ciudad de Colón", elaborado para el Ministerio de Obras Públicas en 1981, en el que se obtuvo información de la Estación Meteorológica de Cristóbal, adyacente a la Ciudad de Colón. Esta información consistió de observaciones de precipitaciones por un periodo de 23 años: de 1957 a 1979.

Tabla 9. Ecuaciones de cálculo de la intensidad de lluvia según fórmulas del MOP para la Vertiente del Atlántico.

Tr	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	30 años	50 años
i (mm/h)	$\frac{7,138}{37.6 + tc}$	$\frac{9,734}{49.3 + tc}$	$\frac{11,367}{55.7 + tc}$	$\frac{13,346}{64.3 + tc}$	$\frac{13,928}{66.6 + tc}$	$\frac{14,267}{67.4 + tc}$	$\frac{15,508}{71.7 + tc}$

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Adicionalmente, a partir del análisis estadístico realizado y la metodología matemática de Bernard se cuenta con la siguiente ecuación:

$$i = \frac{624.4575 * T^{0.151472}}{t^{0.61639}}$$

Donde:

i = intensidad, en mm/h.

T = Periodo de retorno, en años.

t = Tiempo de concentración, en minutos.

7. CAUDALES DE DISEÑO

Para el cálculo de gastos de diseño existen diferentes métodos empíricos. Consideran el escurrimiento en función de algunas características de las cuencas, como el Método Gráfico Alemán y el Método Racional Americano. Este último, por su simpleza, es probablemente uno de los más antiguos y utilizados en el medio, este método toma en cuenta el área de la cuenca, su coeficiente de escurrimiento y la altura o intensidad de la lluvia. Su fundamentación considera tres premisas:

La precipitación es uniforme en toda la cuenca y no tiene variación con el tiempo, lo cual es válido solo para cuencas muy pequeñas. La duración de la tormenta que produce el gasto máximo es igual al tiempo de concentración de la cuenca, el cual es el tiempo que tarda toda la cuenca en contribuir al escurrimiento. Las pérdidas por infiltración, retención, etc., representadas por el coeficiente de escurrimiento, son constantes en el tiempo.

La representación del Método Racional Americano es a través de la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 C i A$$

Donde:

Q , es el gasto máximo, en m^3/s

C , es el coeficiente de escurrimiento, adimensional

i , es la intensidad de la tormenta para una duración igual al tiempo de concentración, en mm/h

A , es el área de la cuenca, Km^2

0.278, es el factor de conversión de unidades

Tabla 10. Resultados por cuenca. Fase A.

SUBCUENCA	PK	COEF. DE ESCORRENTIA C _{eq}	DATOS DE LAS CUENCAS						TIEMPO DE CONCENTRACION (min)	INTENSIDAD FÓRMULAS MOP (ATLANTICO) INTENSIDAD (mm/hr)						INTENSIDAD FÓRMULA BERNARD INTENSIDAD (mm/hr)						MÉTODO RACIONAL INTENSIDAD MOP (ATLANTICO) Q (m³/s)						MÉTODO RACIONAL INTENSIDAD FÓRMULA DE BERNARD Q (m³/s)					
			LONGITUD (m)	ELEVACION INICIO (m)	ELEVACION FINAL (m)	ÁREA (km2)	DIFERENCIA DE ELEVACION (m)	PENDIENTE (m/m)		I ₁₀	I ₂₅	I ₅₀	I ₇₅	I ₁₀₀	I ₁₀	I ₂₅	I ₅₀	I ₇₅	I ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Q ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₇₅	Q ₁₀₀				
C03-8	0+157.36	0.58	110.12	5.98	2.05	0.003	3.93	0.04	13.46	164.36	171.63	173.97	176.44	182.11	178.27	198.00	204.81	210.54	227.48	252.66	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14			
C56-1	0+464.62	0.66	91.90	13.87	7.38	0.001	6.49	0.07	11.07	170.24	177.07	179.32	181.82	187.36	201.09	223.35	231.03	237.50	256.60	285.01	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05			
C35-2	0+878.74	0.55	48.70	20.08	16.39	0.006	3.69	0.08	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.15	0.15	0.15	0.16	0.16	0.20	0.21	0.22	0.23	0.26			
C23-1	1+906.70	0.50	41.70	19.70	16.70	0.021	3.00	0.07	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.49	0.51	0.52	0.53	0.54	0.61	0.68	0.70	0.72	0.87			
C03-6	2+955.00	0.58	372.20	29.86	5.35	0.171	24.51	0.07	27.13	137.24	145.98	148.60	150.93	156.92	115.73	128.54	132.96	136.69	147.68	164.03	3.80	4.04	3.53	4.18	4.35	3.21	3.56	3.68	3.79	4.09	4.55		
C03-10	2+955.65	0.51	73.77	24.88	22.03	0.015	2.85	0.04	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.35	0.37	0.37	0.38	0.39	0.44	0.49	0.50	0.52	0.62			
C03-7	2+990.83	0.50	130.35	29.85	26.94	0.062	2.91	0.02	13.05	165.34	172.55	174.87	177.34	182.99	181.71	201.82	208.76	214.61	231.87	257.54	1.43	1.49	1.51	1.53	1.58	1.57	1.75	1.81	1.86	2.01	2.23		
C03-5	3+630.00	0.50	133.31	36.80	28.60	0.008	8.20	0.06	13.34	164.64	171.89	174.23	176.70	182.36	179.23	199.07	205.92	211.68	228.71	254.03	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21	0.20	0.23	0.24	0.26	0.29			
C03-4A	4+237.74	0.50	20.00	15.00	2.00	0.007	13.00	0.03	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.17	0.18	0.18	0.18	0.19	0.21	0.24	0.25	0.27	0.30			
C03-4	4+381.36	0.50	2649.58	60.52	23.90	1.979	36.62	0.02	197.49	44.90	50.98	52.74	53.86	57.61	34.04	37.81	39.11	40.21	43.44	46.25	12.34	14.01	14.49	14.80	15.83	9.36	10.39	10.75	11.05	11.94	13.26		
C03-1	4+780.39	0.50	2019.25	60.52	25.68	1.501	34.84	0.02	154.80	54.00	60.91	62.91	64.21	68.47	39.56	43.94	45.45	46.72	50.48	56.07	11.26	12.70	13.12	13.39	14.28	8.25	9.16	9.48	9.74	10.53	11.69		
C03-2	5+000.44	0.50	502.37	49.51	29.50	0.135	20.01	0.04	41.46	116.99	126.19	128.89	131.06	137.04	89.10	98.96	102.37	105.23	113.70	126.29	2.19	2.36	2.41	2.45	2.56	1.67	1.85	1.92	1.97	2.13	2.36		
C01-10	5+479.71	0.50	370.23	35.05	26.81	0.039	8.24	0.02	38.91	120.15	129.31	132.01	134.20	140.21	92.66	102.92	106.46	109.44	118.24	131.33	0.64	0.69	0.71	0.72	0.75	0.50	0.55	0.57	0.59	0.63	0.70		
C01-4	6+000.00	0.50	687.01	29.60	13.70	0.230	15.90	0.02	59.92	98.31	107.43	110.08	112.05	117.82	71.00	78.86	81.58	83.86	90.61	100.64	3.13	3.42	3.51	3.57	3.76	2.26	2.51	2.60	2.67	2.89	3.21		
C01-1	6+204.13	0.50	2470.63	58.80	10.09	3.524	48.71	0.02	169.34	50.51	57.12	59.03	60.27	64.34	37.43	41.57	43.00	44.21	47.76	53.05	24.72	27.96	28.89	29.49	31.49	18.32	20.35	21.05	21.63	23.37	25.96		
C01-9	6+553.44	0.50	406.70	27.45	9.26	0.150	18.19	0.04	32.45	128.95	137.94	140.61	142.88	148.90	103.63	115.10	119.05	122.39	132.23	146.87	2.68	2.87	2.92	2.97	3.10	2.15	2.39	2.48	2.54	2.75	3.05		
C01-8	6+984.79	0.50	435.17	24.99	7.94	0.198	17.05	0.04	34.67	125.78	134.85	137.53	139.77	145.79	99.48	110.50	114.29	117.49	126.95	141.00	3.46	3.71	3.78	3.84	4.01	2.74	3.04	3.14	3.23	3.49	3.88		
C01-2	7+782.43	0.50	605.71	19.85	2.82	0.315	17.03	0.03	49.23	108.33	117.55	120.24	122.32	128.24	80.15	89.02	92.08	94.66	102.28	113.60	4.74	5.14	5.26	5.35	5.61	3.51	3.89	4.03	4.14	4.47	4.97		
C01-3	8+192.46	0.50	203.15	5.31	2.47	0.003	2.84	0.01	30.58	131.75	140.67	143.33	145.62	151.63	107.50	119.40	123.50	126.96	137.18	152.36	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06		
C04-1	8+358.65	0.50	2181.50	30.41	2.96	1.862	27.45	0.01	174.35	48.41	55.92	57.81	59.02	63.03	36.76	40.83	42.24	43.42	46.91	52.10	12.78	14.46	14.95	15.26	16.30	9.51	10.56	10.92	11.23	12.13	13.47		
C04-1C	8+650.95	0.50	671.40	9.38	2.86	0.124	6.52	0.01	74.08	87.59	96.45	99.01	100.84	106.38	62.31	69.20	71.58	73.59	79.51	88.31	1.51	1.67	1.71	1.74	1.84	1.08	1.20	1.24	1.27	1.37	1.52		
C04-1A	9+026.46	0.50	304.23	10.52	4.67	0.065	5.85	0.02	31.25	130.73	139.67	142.34	144.62	150.63	106.06	117.80	121.85	125.26	135.34	150.32	1.18	1.26	1.28	1.30	1.36	0.95	1.06	1.10	1.13	1.22	1.35		
C04-1B	9+123.89	0.50	105.43	7.72	6.24	0.009	1.48	0.01	13.98	163.12	170.48	172.84	175.30	180.99	174.10	193.38	200.03	205.63	222.17	246.76	0.21	0.22	0.23	0.23	0.24	0.23	0.25	0.26	0.27	0.29	0.32		
C04-2	9+262.47	0.50	705.65	20.36	10.44	0.431	9.92	0.01	63.85	95.08	104.15	106.77	108.70	114.41	68.28	75.84	78.45	80.65	87.13	96.78	5.69	6.24	6.39	6.51	6.85	4.09	4.54	4.70	4.83	5.22	5.80		
C04-3	9+553.15	0.50	565.20	22.13	9.13	0.162	13.00	0.02	51.11	106.42	115.64	118.33	120.39	126.28	78.32	86.99	89.98	92.50	99.94	111.01	2.39	2.60	2.66	2.71	2.84	1.76	1.96	2.02	2.08	2.25	2.50		
C08-1	9+899.05	0.50	842.49	20.28	8.96	0.463	11.32	0.02	54.94	102.74	111.92	114.59	116.62	122.46	74.91	83.20	86.06	88.47	95.59	106.17	6.89	7.50	7.68	7.82	8.21	5.02	5.58	5.77	5.93	6.41	7.12		
C14-2	10+426.96	0.50	699.44	19.90	9.03	0.422	10.87	0.02	62.16	96.44	105.53	108.17	110.12	115.85	69.42	77.10	79.75	81.99	88.58	98.39	5.85	6.18	6.34	6.45	6.79	4.07	4.52	4.67	4.80	5.19	5.77		
C14-1	10+950.00	0.50	120.30	14.30	10.70	0.018	3.60	0.03	12.83	165.88	173.04	175.36	177.84	183.47	183.64	203.97	210.99	216.89	234.34	260.28	0.43	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	0.52	0.54	0.56	0.60	0.67		

SUBCUENCA	PK	COEF. DE ESCORRENTÍA C _{ES}	DATOS DE LAS CUENCAS					TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min)	INTENSIDAD FÓRMULAS MOP (ATLÁNTICO)				INTENSIDAD FÓRMULA BERNARD				MÉTODO RACIONAL INTENSIDAD FÓRMULA DE BERNARD														
			LONGITUD (m)	ELEVACIÓN INICIO (m)	ELEVACIÓN FINAL (m)	ÁREA (km2)	DIFERENCIA DE ELEVACIÓN (m)		PENDIENTE (m/m)	INTENSIDAD (mm/hr)				INTENSIDAD (mm/hr)				Q (m³/s)													
										I ₁₀	I ₂₅	I ₅₀	I ₁₀₀	I ₁₀	I ₂₅	I ₅₀	I ₁₀₀	Q ₁₀	Q ₂₅	Q ₅₀	Q ₁₀₀										
C19-1	11+241.32	0.50	485.17	20.05	12.55	0.227	7.50	0.02	45.92	111.86	121.09	123.78	125.90	131.85	83.66	92.93	96.12	98.81	106.76	118.58	3.53	3.82	3.91	3.97	4.16	2.64	2.93	3.03	3.12	3.37	3.74
C16-1	11+528.93	0.50	253.93	19.83	14.62	0.127	5.21	0.02	24.06	142.51	151.04	153.62	155.99	161.94	124.60	138.40	143.16	147.16	159.00	176.60	2.52	2.67	2.72	2.76	2.87	2.21	2.45	2.53	2.61	2.82	3.13
C09-2	11+720.68	0.50	253.93	21.04	13.02	0.113	8.02	0.03	22.33	145.67	154.05	156.61	158.99	164.92	130.46	144.90	149.88	154.08	166.48	184.91	2.29	2.43	2.47	2.50	2.60	2.05	2.28	2.36	2.43	2.62	2.91
C09-5	12+325.24	0.50	139.08	21.06	15.91	0.103	5.15	0.04	11.97	167.99	174.99	177.28	179.76	185.36	191.66	212.88	220.20	226.36	244.57	271.65	2.40	2.50	2.53	2.57	2.65	2.74	3.04	3.14	3.23	3.49	3.88
C09-1	12+443.51	0.50	141.23	20.51	15.75	0.050	4.76	0.03	13.37	164.56	171.82	174.16	176.63	182.29	178.97	198.78	205.61	211.37	228.38	253.66	1.13	1.18	1.20	1.22	1.26	1.23	1.37	1.42	1.46	1.57	1.75
C09-3	12+464.86	0.50	24.31	13.92	13.30	0.017	0.62	0.03	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.40	0.42	0.42	0.43	0.44	0.50	0.55	0.57	0.58	0.63	0.70
C46-1	13+080.96	0.50	392.63	14.58	2.33	0.102	12.25	0.03	35.02	125.30	134.38	137.06	139.30	145.32	98.88	109.82	113.60	116.78	126.17	140.14	1.77	1.90	1.94	1.97	2.05	1.40	1.55	1.61	1.65	1.78	1.98
CG	13+259.80	0.85	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.19	0.21	0.22	0.22	0.24	0.27
CJ	13+490.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.004	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.18	0.20	0.21	0.22	0.23	0.26
CK	14+183.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.001	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10
CC	0+631.33	0.85	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.24	0.25	0.25	0.25	0.26	0.29	0.33	0.34	0.35	0.38	0.42
CD	0+818.13	0.85	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.37	0.38	0.39	0.39	0.40	0.46	0.51	0.52	0.54	0.58	0.65
CE	1+019.75	0.85	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.89	0.92	0.93	0.95	0.97	1.10	1.22	1.26	1.30	1.40	1.56
CF	1+173.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	10.00	173.01	179.62	181.83	184.33	189.82	214.09	237.79	245.96	252.85	273.19	303.43	0.77	0.80	0.81	0.82	0.85	0.96	1.06	1.10	1.13	1.22	1.35
C07-2	1+369.41	0.50	241.59	14.58	2.71	0.04	11.87	0.05	21.52	147.19	155.50	158.05	160.44	165.35	133.47	148.24	153.34	157.63	170.31	189.17	0.84	0.89	0.90	0.92	0.95	0.76	0.85	0.88	0.90	0.97	1.08
C56-3	1+607.38	0.50	210.89	13.07	1.77	0.05	11.30	0.05	18.10	154.03	161.97	164.44	166.87	172.70	148.53	164.97	170.64	175.42	189.53	210.51	1.08	1.13	1.15	1.17	1.21	1.04	1.15	1.19	1.23	1.33	1.47
C56-2	1+736.42	0.50	333.62	10.19	1.32	0.08	8.87	0.03	31.63	130.16	139.12	141.78	144.06	150.08	105.27	116.92	120.94	124.33	134.33	149.20	1.36	1.46	1.49	1.51	1.57	1.10	1.23	1.27	1.30	1.41	1.56
C03-11	1+905.15	0.50	365.76	7.15	0.10	0.08	7.05	0.02	36.69	123.03	132.15	134.84	137.06	143.07	96.07	106.70	110.37	113.46	122.59	136.16	1.40	1.50	1.53	1.55	1.62	1.09	1.21	1.25	1.29	1.39	1.54
C03-15	2+213.13	0.50	460.98	9.25	0.10	0.20	9.15	0.02	40.88	117.70	126.89	129.59	131.76	137.75	89.88	99.83	103.26	106.16	114.70	127.39	3.32	3.58	3.66	3.72	3.89	2.54	2.82	2.92	3.00	3.24	3.60
C03-16	2+366.46	0.50	300.00	9.00	0.10	0.05	8.90	0.03	29.12	134.01	142.86	145.50	147.81	153.82	110.78	123.04	127.27	130.83	141.36	157.01	0.89	0.95	0.97	0.98	1.02	0.74	0.82	0.85	0.87	0.94	1.05
C03-9	2+396.60	0.50	3580.80	30.26	0.10	6.19	30.16	0.00	334.92	29.10	33.43	34.69	35.46	38.14	24.58	27.30	28.24	29.03	31.37	34.84	25.02	28.74	29.82	30.49	32.79	21.13	23.47	24.28	24.86	26.97	29.95
C03-13	2+667.93	0.50	78.90	0.15	0.10	0.01	0.05	0.00	20.69	148.80	157.03	159.56	161.96	167.86	136.76	151.90	157.13	161.53	174.52	193.84	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.14
C03-12	2+633.02	0.50	283.67	6.36	0.10	0.04	6.26	0.02	29.87	132.83	141.72	144.37	146.67	152.68	109.05	121.12	125.29	128.80	139.16	154.56	0.71	0.75	0.77	0.78	0.81	0.58	0.65	0.67	0.69	0.74	0.82
C03-14	2+883.43	0.50	641.41	22.84	0.10	0.27	22.74	0.04	50.56	106.97	116.19	118.88	120.94	126.84	78.84	87.57	90.59	93.12	100.61	111.74	4.00	4.34	4.44	4.52	4.74	2.95	3.27	3.38	3.48	3.76	4.18
C42-3	3+376.36	0.50	212.14	18.50	2.95	0.05	15.55	0.07	17.27	155.78	163.62	166.07	168.50	174.31	152.88	169.80	175.64	180.56	195.08	216.68	0.99	1.04	1.05	1.07	1.11	0.97	1.08	1.11	1.14	1.24	1.37
C42-1	3+628.88	0.50	216.18	16.41	0.10	0.04	16.31	0.08	17.94	154.36	162.28	164.75	167.18	173.00	149.32	165.85	171.55	176.36	190.55	211.64	0.76	0.80	0.81	0.82	0.85	0.74	0.82	0.85	0.87	0.94	1.04

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

8. ESTUDIO HIDRÁULICO

8.1. SISTEMA DE DRENAJE DE LA ZONA URBANA

A continuación, se desarrolla el nuevo sistema para el manejo de las aguas pluviales del centro urbano de la isla, se expondrán los criterios y parámetros utilizados, así como los resultados obtenidos.

8.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La topografía de la zona urbana presenta muy bajas pendientes, elevaciones debajo del nivel medio del mar en algunos puntos, y una morfología característica; que lleva a la división de la misma en dos sub-zonas a saber:

- Zona interna: evacuación de aguas pluviales por sistema de drenaje cerrado, hacia estaciones de bombeo propuestas.
- Zona externa: evacuación de aguas pluviales por drenajes superficiales, hacia puntos de descarga natural.

La interacción con las utilidades existentes, principalmente el sistema de alcantarillado sanitario, es otra limitante importante a considerar para el planteamiento de la solución a desarrollar.

8.1.2. CRITERIOS DE DISEÑO

Se presentan los criterios contemplados en este diseño. Los criterios de carácter hidrológico han sido desarrollados en los apartados 5 y 6, y se resumen a continuación:

- Tiempo de concentración:

Es el mínimo tiempo necesario para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida. Se han desarrollado distintas fórmulas para el cálculo de este, dependiendo de las características morfológicas de la cuenca drenante, sin embargo y considerando que las áreas aferentes de la zona urbana no cuentan con un cauce definido, se ha designado un tiempo de concentración de 10 minutos para éstas.

- **Coefficiente de escorrentía:**

Es la relación entre la porción de precipitación que escurre superficialmente y la precipitación total. Se tomará en cuenta el coeficiente de escorrentía de 0.85 establecido en el Pliego de Cargos como valor a utilizar para el drenaje urbano.

- **Periodo de retorno:**

Es el tiempo o número de años en el que, en promedio, se presenta un evento extremo. De acuerdo a la normativa del MOP se establece un periodo de 1:10 años para alcantarillas pluviales; sin embargo, y en concordancia con lo establecido en el pliego de cargos, se establecerá un periodo de diseño de 1:20 años para los elementos diseñados en el drenaje urbano.

- **Intensidad de la lluvia**

Se representa mediante la formulación empírica basada en los datos hidrometeorológicos obtenidos de zonas similares. El Ministerio de Obras Públicas recomienda las ecuaciones para cálculo de intensidad de lluvia para la vertiente del Atlántico, las cuales son consideradas en la elaboración del diseño. Adicionalmente, se evalúa la intensidad de lluvia basada en el método probabilístico de Gumbel de valores extremos y la expresión de Bernard, desarrollados en el apartado 6.3 de este documento.

- **Determinación de caudales de diseño**

Se determinarán los caudales producto del escurrimiento mediante la fórmula racional, el cual establece una relación entre el área de la cuenca, su coeficiente de escurrimiento, y la intensidad de la lluvia. La utilización de esta se restringe a un área máxima de 250 hectáreas, lo cual está dentro del rango considerando el tamaño reducido de las áreas aferentes determinadas.

Los criterios de carácter hidráulico han sido establecidos en base a los requerimientos tanto de la normativa para el diseño de sistemas pluviales del MOP, como por el Pliego de Cargos, y se presentan a continuación:

- **Diámetro mínimo**

El diámetro mínimo según la normativa del MOP es de 45 cm (18") en tramo inicial no mayor de 10 m. El Pliego de Cargos establece un valor mínimo de 60 cm para los accesos de viviendas, fincas, escuelas, comercios, etc.; y de 75 cm para los cruces transversales a la vía. Estos últimos valores se adoptarán como mínimos para el diseño.

- **Material del conducto**

El Pliego de Cargos establece una restricción de uso de tuberías de acero, y señala que las tuberías transversales a la vía deberán ser de hormigón reforzado; por lo que se adoptará el hormigón reforzado como material tanto para las tuberías como para las cunetas a diseñar.

- **Velocidad mínima**

Es la menor velocidad que no permite la sedimentación y crecimiento vegetal en la estructura pluvial. La normativa del MOP recomienda un valor de 0.914 m/s para tuberías de hormigón reforzado, cabe destacar que el Pliego de Cargos establece un valor mínimo para los sistemas de drenaje de 1.00 m/s. Se tomarán como referencia estos valores siempre que sea posible, considerando las restricciones imperantes en la zona (bajas pendientes, necesidad de minimizar profundidades de excavación debido al suelo); aunque siempre guardando un valor mínimo global de 0.6 m/s, que asegura la auto limpieza del conducto.

- **Velocidad máxima**

Es la mayor velocidad con la cual la estructura pluvial no se erosiona. La normativa del MOP establece un valor de 3.66 m/s para tuberías de hormigón reforzado, y de 4.573 m/s para canales de concreto, cabe destacar que el Pliego de Cargos establece un límite máximo de 5.00 m/s para los sistemas de drenaje. Se tomarán como referencia estos valores para el diseño.

- Pendiente

La normativa del MOP establece que la pendiente proyectada sea suficiente para que las velocidades estén dentro de los límites indicados.

- Recubrimiento mínimo

Se establece un valor mínimo de 0.45 m de recubrimiento sobre la corona de las tuberías, hasta la parte superior de la losa de pavimento, el cual se tomará como referencia para el diseño. De no cumplirse, se procederá al refuerzo de la losa, según lo indicado en el detalle suministrado para tal fin.

- Localización de cámaras pluviales

Las cámaras de inspección se localizarán a:

- Intervalos no mayores de 100m.
- Cambios de dirección horizontal.
- Cambios de pendiente.
- Cambios de diámetro.
- Al inicio del sistema.

Adicionalmente, si la cámara pluvial funciona como un tragante, se debe considerar localizarlas en:

- Tramos rectos no mayores de 60m.
- Puntos bajos de las calles.
- Las esquinas de las calles, fuera de los radios de giro.

8.1.3. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Tal como se ha descrito en el apartado 8.1.1. la recolección de aguas pluviales en la zona urbana se realiza en dos zonas, el área interna o central y el área externa o periférica. A su vez, la zona interna

se subdivide en dos áreas (norte y sur), para la distribución de las tuberías emplazadas hacia cada uno de los sistemas de bombeo propuestos.

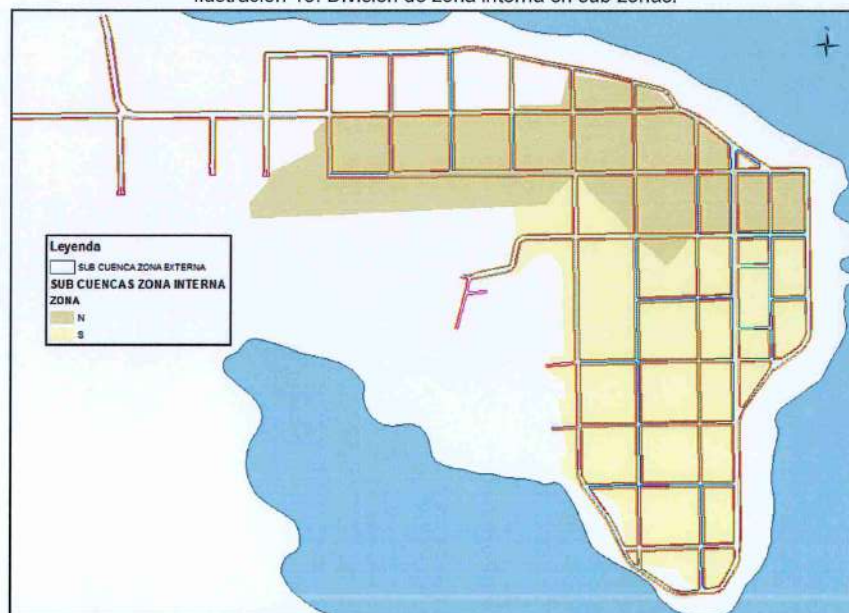
Ilustración 12. División de área urbana en zonas principales.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Estas subredes de conducción pluvial constan de un colector en el área norte, y dos colectores en el área sur, además de ramales que se conectan a éstos. Se tienen principalmente tuberías de hormigón reforzado, con diámetros (nominales) que van desde los 0.60 m hasta los 1.80m. Además, se han rediseñado los canales de concreto existentes, emplazados en la Avenida F y en Calle Sexta; se profundizará en detalle sobre éstos en el apartado 8.1.5. Estos conductos se unirán principalmente por tragantes Tipo L-2 (identificados como TP##), y en algunos casos se utilizarán cajas pluviales (identificados como CP##) como punto de intersección de varias líneas de tuberías.

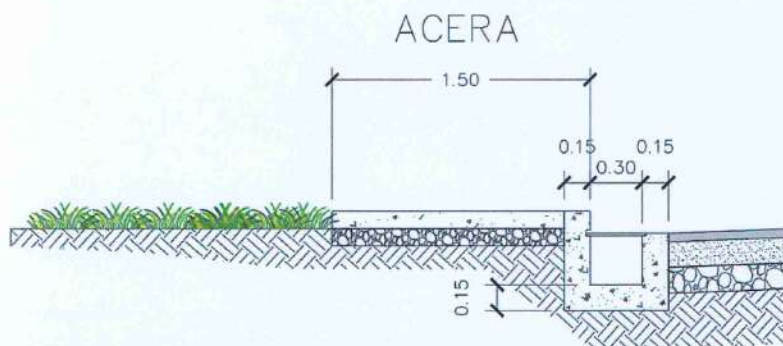
Ilustración 13. División de zona interna en sub zonas.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

El drenaje superficial dentro de la zona interna del área urbana, por los condicionantes expuestos en la Sección 7. Descripción de Problemas Técnicos, Legales o Comunitarios, Apartado 3.1.3, constará principalmente de cordones canales, los cuales son canales rectangulares emparillados paralelos a las vías.

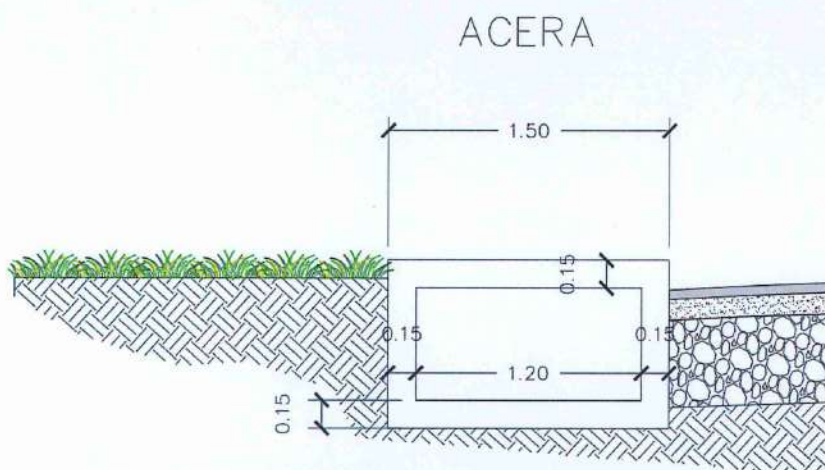
Ilustración 14. Detalle de cordón canal.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Para la zona externa del área urbana de la isla, cuya conducción de aguas pluviales se realizará superficialmente; se emplearán principalmente cordones canales, además de canales emplazados en la acera. Se dispone de los mismos debido a su disponibilidad de una mayor sección hidráulica, lo que les permiten conducir caudales más grandes, hasta los puntos de descarga.

Ilustración 15. Detalle de acera canal.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

Cabe resaltar la elección de los drenajes superficiales propuestos, en comparación con otros, debido a una mayor integración al nuevo urbanismo desarrollado; en concordancia con lo dispuesto en el apartado 1-3.7 Drenaje Longitudinal a Diseñar, del Pliego de Cargos.

8.1.4. ELABORACIÓN DEL MODELO

El modelado de la red de alcantarillado pluvial se realiza en el software SewerGEMS, el cual nos permite de una forma dinámica y sencilla el manejo de complejos sistemas hidráulicos. Esta herramienta realiza el cómputo de la hidráulica de los conductos mediante la resolución de las ecuaciones de St. Venant para flujo unidimensional con superficie libre:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} - S_0 + S_x = 0$$

Con la utilización del solver para método racional y flujo gradualmente variado, se transita el caudal máximo para el evento de lluvia seleccionado, obtenido bajo las consideraciones de dicho método; y luego calcula las propiedades hidráulicas basadas en dichos caudales. Se complementa con la determinación del perfil de la superficie de agua en los conductos mediante un análisis hacia aguas arriba; el cual, en conjunto con los algoritmos para flujo gradualmente variado, ofrecen soluciones más rigurosas y que reflejan de mejor manera el comportamiento real.

El software ofrece una herramienta de administrador de escenarios, los cuales no son más que contenedores de las características que tendrá el modelo, ya sea para una evaluación de situación actual o una proyección futura a un año horizonte definido.

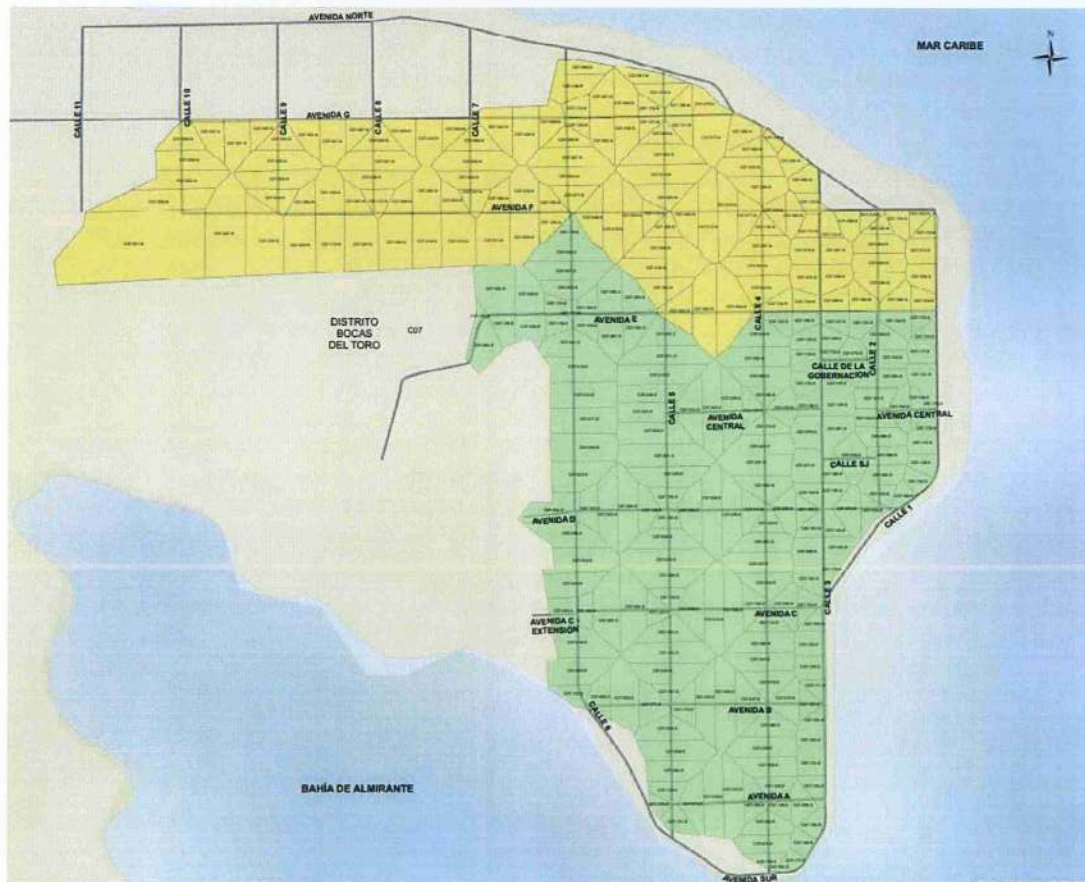
Para la modelación del alcantarillado interno se evaluó el escenario de Caudal Máximo (Peak Flow) para un periodo de retorno de 1:20 años, y se complementó con escenarios para evaluaciones puntuales de Caudal Máximo para periodos de retorno de 1:25 años, 1:50 años, y 1:100 años.

Todas estas características representan una gran ventaja para la modelación de conductos y redes de alcantarillado en general, cuando por condicionantes o características especiales del lugar de emplazamiento de dicha red, no se puede cumplir con los parámetros básicos asumidos por la ecuación de Manning, tal como es el caso del alcantarillado pluvial en la zona urbana de Isla Colón.

8.1.5. CÁLCULOS HIDRÁULICOS

La división de cuencas se ha realizado primero haciendo una macro división basada en la topografía de la zona urbana; de la cual se obtienen las sub zonas interna y externa; y luego se utiliza la metodología de los polígonos de Thiessen para dividir en áreas aferentes más pequeñas, que ingresarán su aporte a cada uno de los elementos (tragantes) del sistema de conducción pluvial.

Ilustración 16. División de sub zona interna en áreas aferentes.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyec-Ingteotec.

A continuación, se presentan las cuencas aferentes obtenidas, tanto para el área Norte como el área Sur:

Tabla 11. Áreas aferentes dentro de la red de alcantarillado pluvial.

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-001-S	Sur	0.223	ICS-R05-TP07	C07-001-N	Norte	1.041	ICN-R56-TP01
C07-002-S	Sur	0.204	ICS-R01-TP03	C07-002-N	Norte	0.403	ICN-R56-TP02
C07-003-S	Sur	0.198	ICS-C01-TP11	C07-003-N	Norte	0.293	ICN-R56-TP03
C07-004-S	Sur	0.198	ICS-R19-TP02	C07-004-N	Norte	0.233	ICN-R63-TP01

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-005-S	Sur	0.195	ICS-C02-TP22	C07-005-N	Norte	0.23	ICN-R52-TP04
C07-006-S	Sur	0.195	ICS-R08-TP01	C07-006-N	Norte	0.21	ICN-R63-TP02
C07-007-S	Sur	0.193	ICS-R06-TP01	C07-007-N	Norte	0.206	ICN-R56-TP06
C07-008-S	Sur	0.193	ICS-R15-TP02	C07-008-N	Norte	0.201	ICN-R56-TP07
C07-009-S	Sur	0.193	ICS-C01-TP23	C07-009-N	Norte	0.201	ICN-R56-TP04
C07-010-S	Sur	0.193	ICS-R07-TP08	C07-010-N	Norte	0.193	ICN-R56-TP09
C07-011-S	Sur	0.19	ICS-C01-TP10	C07-011-N	Norte	0.189	ICN-R56-TP10
C07-012-S	Sur	0.188	ICS-R07-TP03	C07-012-N	Norte	0.187	ICN-R62-TP20
C07-013-S	Sur	0.186	ICS-R14-TP02	C07-013-N	Norte	0.181	ICN-R60-TP02
C07-014-S	Sur	0.182	ICS-C01-TP09	C07-014-N	Norte	0.18	ICN-R56-TP05
C07-015-S	Sur	0.18	ICS-C01-TP08	C07-015-N	Norte	0.177	ICN-R62-TP25
C07-016-S	Sur	0.174	ICS-C01-TP18	C07-016-N	Norte	0.177	ICN-R63-TP06
C07-017-S	Sur	0.173	ICS-R05-TP02	C07-017-N	Norte	0.171	ICN-R59-TP09
C07-018-S	Sur	0.172	ICS-R12-TP02	C07-018-N	Norte	0.168	ICN-R56-TP08
C07-019-S	Sur	0.171	ICS-R05-TP03	C07-019-N	Norte	0.162	ICN-R62-TP19
C07-020-S	Sur	0.169	ICS-C01-TP19	C07-020-N	Norte	0.161	ICN-R55-TP02
C07-021-S	Sur	0.168	ICS-R12-TP03	C07-021-N	Norte	0.158	ICN-R54-TP02
C07-022-S	Sur	0.167	ICS-C01-TP15	C07-022-N	Norte	0.157	ICN-R52-TP03
C07-023-S	Sur	0.166	ICS-C01-TP12	C07-023-N	Norte	0.154	ICN-R53-TP02
C07-024-S	Sur	0.166	ICS-R05-TP12	C07-024-N	Norte	0.153	ICN-C03-TP03
C07-025-S	Sur	0.165	ICS-R05-TP06	C07-025-N	Norte	0.153	ICN-R53-TP03
C07-026-S	Sur	0.163	ICS-C01-TP14	C07-026-N	Norte	0.153	ICN-R50-TP11
C07-027-S	Sur	0.163	ICS-C01-TP03	C07-027-N	Norte	0.152	ICN-C03-TP04
C07-028-S	Sur	0.158	ICS-R09-TP05	C07-028-N	Norte	0.152	ICN-R60-TP03
C07-029-S	Sur	0.157	ICS-R15-TP03	C07-029-N	Norte	0.144	ICN-R56-TP11
C07-030-S	Sur	0.157	ICS-C02-TP23	C07-030-N	Norte	0.142	ICN-R51-TP04
C07-031-S	Sur	0.157	ICS-R21-TP02	C07-031-N	Norte	0.141	ICN-R64-TP02
C07-032-S	Sur	0.155	ICS-R20-TP02	C07-032-N	Norte	0.14	ICN-R51-TP08
C07-033-S	Sur	0.154	ICS-R05-TP13	C07-033-N	Norte	0.136	ICN-R61-TP02
C07-034-S	Sur	0.152	ICS-C01-TP13	C07-034-N	Norte	0.136	ICN-R51-TP12
C07-035-S	Sur	0.15	ICS-R19-TP03	C07-035-N	Norte	0.135	ICN-R63-TP07
C07-036-S	Sur	0.149	ICS-R05-TP08	C07-036-N	Norte	0.132	ICN-R52-TP02

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-037-S	Sur	0.148	ICS-R16-TP02	C07-037-N	Norte	0.129	ICN-R50-TP02
C07-038-S	Sur	0.147	ICS-R14-TP03	C07-038-N	Norte	0.128	ICN-R61-TP01
C07-039-S	Sur	0.145	ICS-R12-TP08	C07-039-N	Norte	0.128	ICN-R62-TP24
C07-040-S	Sur	0.144	ICS-C01-TP02	C07-040-N	Norte	0.127	ICN-R54-TP03
C07-041-S	Sur	0.143	ICS-C01-TP07	C07-041-N	Norte	0.126	ICN-R50-TP05
C07-042-S	Sur	0.14	ICS-R11-TP03	C07-042-N	Norte	0.125	ICN-R50-TP10
C07-043-S	Sur	0.139	ICS-R21-TP03	C07-043-N	Norte	0.124	ICN-R50-TP08
C07-044-S	Sur	0.138	ICS-R07-TP09	C07-044-N	Norte	0.123	ICN-R55-TP03
C07-045-S	Sur	0.136	ICS-C01-TP16	C07-045-N	Norte	0.121	ICN-R64-TP01
C07-046-S	Sur	0.132	ICS-R05-TP04	C07-046-N	Norte	0.121	ICN-C03-TP08
C07-047-S	Sur	0.132	ICS-C02-TP21	C07-047-N	Norte	0.116	ICN-R64-TP03
C07-048-S	Sur	0.132	ICS-R01-TP04	C07-048-N	Norte	0.115	ICN-R62-TP21
C07-049-S	Sur	0.132	ICS-R11-TP02	C07-049-N	Norte	0.115	ICN-R62-TP26
C07-050-S	Sur	0.131	ICS-R09-TP06	C07-050-N	Norte	0.112	ICN-R67-TP02
C07-051-S	Sur	0.13	ICS-R19-TP01	C07-051-N	Norte	0.111	ICN-R63-TP05
C07-052-S	Sur	0.128	ICS-R07-TP02	C07-052-N	Norte	0.105	ICN-R63-TP03
C07-053-S	Sur	0.128	ICS-R20-TP01	C07-053-N	Norte	0.104	ICN-R60-TP01
C07-054-S	Sur	0.127	ICS-R02-TP01	C07-054-N	Norte	0.103	ICN-R67-TP03
C07-055-S	Sur	0.126	ICS-R18-TP01	C07-055-N	Norte	0.102	ICN-R59-TP13
C07-056-S	Sur	0.125	ICS-R14-TP01	C07-056-N	Norte	0.102	ICN-R67-TP01
C07-057-S	Sur	0.123	ICS-R05-TP05	C07-057-N	Norte	0.102	ICN-R50-TP01
C07-058-S	Sur	0.123	ICS-R12-TP07	C07-058-N	Norte	0.101	ICN-R52-TP01
C07-059-S	Sur	0.123	ICS-R07-TP04	C07-059-N	Norte	0.101	ICN-R57-TP05
C07-060-S	Sur	0.123	ICS-R20-TP03	C07-060-N	Norte	0.1	ICN-R55-TP01
C07-061-S	Sur	0.121	ICS-R16-TP03	C07-061-N	Norte	0.098	ICN-R57-TP06
C07-062-S	Sur	0.119	ICS-R21-TP01	C07-062-N	Norte	0.098	ICN-R59-TP14
C07-063-S	Sur	0.116	ICS-R07-TP07	C07-063-N	Norte	0.096	ICN-R50-TP04
C07-064-S	Sur	0.116	ICS-R09-TP04	C07-064-N	Norte	0.095	ICN-R54-TP01
C07-065-S	Sur	0.116	ICS-R05-TP01	C07-065-N	Norte	0.094	ICN-R59-TP07
C07-066-S	Sur	0.115	ICS-R12-TP09	C07-066-N	Norte	0.093	ICN-R50-TP12
C07-067-S	Sur	0.115	ICS-R04-TP02	C07-067-N	Norte	0.09	ICN-R66-TP05
C07-068-S	Sur	0.115	ICS-R15-TP01	C07-068-N	Norte	0.09	ICN-R66-TP04

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-069-S	Sur	0.112	ICS-R03-TP02	C07-069-N	Norte	0.089	ICN-R50-TP07
C07-070-S	Sur	0.111	ICS-R13-TP07	C07-070-N	Norte	0.088	ICN-R53-TP01
C07-071-S	Sur	0.111	ICS-R23-TP02	C07-071-N	Norte	0.088	ICN-R62-TP18
C07-072-S	Sur	0.11	ICS-R25-TP01	C07-072-N	Norte	0.088	ICN-R65-TP04
C07-073-S	Sur	0.11	ICS-R12-TP01	C07-073-N	Norte	0.085	ICN-R62-TP05
C07-074-S	Sur	0.109	ICS-R16-TP01	C07-074-N	Norte	0.085	ICN-R58-TP02
C07-075-S	Sur	0.108	ICS-R26-TP09	C07-075-N	Norte	0.084	ICN-R53-TP04
C07-076-S	Sur	0.105	ICS-R11-TP04	C07-076-N	Norte	0.083	ICN-R65-TP05
C07-077-S	Sur	0.102	ICS-C02-TP26	C07-077-N	Norte	0.082	ICN-C03-TP02
C07-078-S	Sur	0.101	ICS-R23-TP03	C07-078-N	Norte	0.081	ICN-R62-TP04
C07-079-S	Sur	0.097	ICS-C02-TP19	C07-079-N	Norte	0.078	ICN-R57-TP01
C07-080-S	Sur	0.096	ICS-R03-TP01	C07-080-N	Norte	0.077	ICN-R59-TP02
C07-081-S	Sur	0.096	ICS-C02-TP02	C07-081-N	Norte	0.075	ICN-R58-TP01
C07-082-S	Sur	0.096	ICS-R13-TP08	C07-082-N	Norte	0.074	ICN-R51-TP03
C07-083-S	Sur	0.095	ICS-R27-TP03	C07-083-N	Norte	0.074	ICN-R51-TP11
C07-084-S	Sur	0.094	ICS-R27-TP01	C07-084-N	Norte	0.073	ICN-R66-TP01
C07-085-S	Sur	0.094	ICS-R27-TP07	C07-085-N	Norte	0.073	ICN-R62-TP15
C07-086-S	Sur	0.093	ICS-R17-TP01	C07-086-N	Norte	0.073	ICN-R51-TP07
C07-087-S	Sur	0.092	ICS-R04-TP01	C07-087-N	Norte	0.072	ICN-R50-TP06
C07-088-S	Sur	0.091	ICS-R02-TP04	C07-088-N	Norte	0.072	ICN-R62-TP01
C07-089-S	Sur	0.09	ICS-R14-TP06	C07-089-N	Norte	0.072	ICN-R61-TP03
C07-090-S	Sur	0.09	ICS-R12-TP04	C07-090-N	Norte	0.072	ICN-C03-TP09
C07-091-S	Sur	0.089	ICS-C02-TP09	C07-091-N	Norte	0.071	ICN-R51-TP05
C07-092-S	Sur	0.088	ICS-C01-TP04	C07-092-N	Norte	0.07	ICN-C03-TP05
C07-093-S	Sur	0.088	ICS-C01-TP22	C07-093-N	Norte	0.07	ICN-R50-TP09
C07-094-S	Sur	0.088	ICS-R27-TP09	C07-094-N	Norte	0.069	ICN-R51-TP09
C07-095-S	Sur	0.087	ICS-C01-TP17	C07-095-N	Norte	0.068	ICN-R59-TP04
C07-096-S	Sur	0.087	ICS-R15-TP06	C07-096-N	Norte	0.068	ICN-R62-TP12
C07-097-S	Sur	0.087	ICS-R19-TP06	C07-097-N	Norte	0.067	ICN-R50-TP03
C07-098-S	Sur	0.085	ICS-R27-TP08	C07-098-N	Norte	0.066	ICN-R66-TP02
C07-099-S	Sur	0.085	ICS-R13-TP11	C07-099-N	Norte	0.064	ICN-R60-TP04
C07-100-S	Sur	0.085	ICS-R27-TP02	C07-100-N	Norte	0.062	ICN-R56-TP12

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-101-S	Sur	0.085	ICS-R27-TP04	C07-101-N	Norte	0.061	ICN-R54-TP04
C07-102-S	Sur	0.083	ICS-C02-TP11	C07-102-N	Norte	0.061	ICN-R51-TP13
C07-103-S	Sur	0.081	ICS-C02-TP14	C07-103-N	Norte	0.061	ICN-R65-TP02
C07-104-S	Sur	0.081	ICS-R27-TP06	C07-104-N	Norte	0.061	ICN-R65-TP01
C07-105-S	Sur	0.08	ICS-R28-TP02	C07-105-N	Norte	0.06	ICN-R62-TP16
C07-106-S	Sur	0.08	ICS-C02-TP15	C07-106-N	Norte	0.06	ICN-R57-TP02
C07-107-S	Sur	0.078	ICS-R05-TP14	C07-107-N	Norte	0.06	ICN-R55-TP04
C07-108-S	Sur	0.078	ICS-R05-TP11	C07-108-N	Norte	0.059	ICN-R63-TP08
C07-109-S	Sur	0.077	ICS-R14-TP04	C07-109-N	Norte	0.059	ICN-R62-TP02
C07-110-S	Sur	0.077	ICS-C02-TP25	C07-110-N	Norte	0.059	ICN-R62-TP09
C07-111-S	Sur	0.076	ICS-R15-TP04	C07-111-N	Norte	0.058	ICN-R59-TP10
C07-112-S	Sur	0.076	ICS-R29-TP02	C07-112-N	Norte	0.055	ICN-R57-TP07
C07-113-S	Sur	0.075	ICS-R13-TP14	C07-113-N	Norte	0.055	ICN-R62-TP23
C07-114-S	Sur	0.075	ICS-R11-TP01	C07-114-N	Norte	0.055	ICN-R66-TP06
C07-115-S	Sur	0.075	ICS-R21-TP04	C07-115-N	Norte	0.051	ICN-R59-TP01
C07-116-S	Sur	0.074	ICS-R22-TP05	C07-116-N	Norte	0.05	ICN-R64-TP04
C07-117-S	Sur	0.074	ICS-R26-TP01	C07-117-N	Norte	0.047	ICN-R65-TP06
C07-118-S	Sur	0.074	ICS-C01-TP01	C07-118-N	Norte	0.045	ICN-R57-TP04
C07-119-S	Sur	0.074	ICS-R22-TP06	C07-119-N	Norte	0.043	ICN-R62-TP06
C07-120-S	Sur	0.074	ICS-C02-TP01	C07-120-N	Norte	0.041	ICN-R67-TP04
C07-121-S	Sur	0.073	ICS-R31-TP02	C07-121-N	Norte	0.041	ICN-R59-TP12
C07-122-S	Sur	0.072	ICS-R24-TP01	C07-122-N	Norte	0.041	ICN-R62-TP08
C07-123-S	Sur	0.071	ICS-R13-TP15	C07-123-N	Norte	0.038	ICN-R59-TP15
C07-124-S	Sur	0.07	ICS-R30-TP01	C07-124-N	Norte	0.035	ICN-R62-TP11
C07-125-S	Sur	0.07	ICS-C02-TP04	C07-125-N	Norte	0.028	ICN-R59-TP05
C07-126-S	Sur	0.069	ICS-R12-TP06				
C07-127-S	Sur	0.069	ICS-R24-TP06				
C07-128-S	Sur	0.069	ICS-R02-TP03				
C07-129-S	Sur	0.068	ICS-R09-TP03				
C07-130-S	Sur	0.068	ICS-R26-TP08				
C07-131-S	Sur	0.068	ICS-R09-TP01				
C07-132-S	Sur	0.068	ICS-R22-TP04				

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-133-S	Sur	0.067	ICS-C01-TP20				
C07-134-S	Sur	0.066	ICS-R14-TP07				
C07-135-S	Sur	0.065	ICS-R13-TP13				
C07-136-S	Sur	0.062	ICS-R05-TP09				
C07-137-S	Sur	0.062	ICS-R19-TP04				
C07-138-S	Sur	0.061	ICS-R29-TP03				
C07-139-S	Sur	0.059	ICS-R07-TP05				
C07-140-S	Sur	0.058	ICS-R16-TP04				
C07-141-S	Sur	0.058	ICS-R22-TP01				
C07-142-S	Sur	0.058	ICS-R08-TP02				
C07-143-S	Sur	0.058	ICS-R27-TP10				
C07-144-S	Sur	0.057	ICS-R28-TP01				
C07-145-S	Sur	0.057	ICS-C02-TP08				
C07-146-S	Sur	0.057	ICS-R13-TP02				
C07-147-S	Sur	0.057	ICS-R24-TP02				
C07-148-S	Sur	0.057	ICS-R19-TP07				
C07-149-S	Sur	0.056	ICS-R04-TP03				
C07-150-S	Sur	0.056	ICS-R13-TP01				
C07-151-S	Sur	0.056	ICS-C02-TP05				
C07-152-S	Sur	0.055	ICS-R07-TP01				
C07-153-S	Sur	0.055	ICS-R26-TP05				
C07-154-S	Sur	0.054	ICS-R06-TP02				
C07-155-S	Sur	0.054	ICS-R23-TP01				
C07-156-S	Sur	0.053	ICS-R24-TP04				
C07-157-S	Sur	0.052	ICS-C02-TP18				
C07-158-S	Sur	0.052	ICS-R13-TP10				
C07-159-S	Sur	0.051	ICS-R02-TP05				
C07-160-S	Sur	0.051	ICS-R22-TP02				
C07-161-S	Sur	0.051	ICS-R15-TP09				
C07-162-S	Sur	0.049	ICS-R13-TP16				
C07-163-S	Sur	0.049	ICS-R15-TP07				
C07-164-S	Sur	0.049	ICS-C02-TP13				

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-165-S	Sur	0.048	ICS-R03-TP03				
C07-166-S	Sur	0.048	ICS-R20-TP04				
C07-167-S	Sur	0.047	ICS-R07-TP10				
C07-168-S	Sur	0.046	ICS-R27-TP13				
C07-169-S	Sur	0.045	ICS-R13-TP06				
C07-170-S	Sur	0.044	ICS-R24-TP05				
C07-171-S	Sur	0.043	ICS-C02-TP16				
C07-172-S	Sur	0.041	ICS-R30-TP02				
C07-173-S	Sur	0.038	ICS-R01-TP05				
C07-174-S	Sur	0.035	ICS-R29-TP01				
C07-175-S	Sur	0.035	ICS-R30-TP04				
C07-176-S	Sur	0.034	ICS-R10-TP01				
C07-177-S	Sur	0.031	ICS-R13-TP03				
C07-178-S	Sur	0.03	ICS-R31-TP01				
C07-179-S	Sur	0.029	ICS-C02-TP10				
C07-180-S	Sur	0.029	ICS-R01-TP01				
C07-181-S	Sur	0.026	ICS-C01-TP05				
C07-182-S	Sur	0.015	ICS-R13-TP04				

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

La determinación de los caudales de dichas áreas aferentes se ha realizado bajo las consideraciones del método racional, y los criterios antes descritos. Es preciso mencionar que, debido al hecho de que el área urbana es una de las zonas más propensas a afectaciones actualmente, se hace una consideración especial para la evaluación de la intensidad de lluvia y se toma como criterio de diseño la expresión de Bernard; ya que arroja valores más conservadores para los tiempos de concentración de esta zona.

8.1.5.1. DETERMINACIÓN DE CAUDAL PARA ANÁLISIS DE INUNDACIÓN

Este inciso desarrolla el cálculo de los caudales conducidos por el canal pluvial existente; los cuales son utilizados como base para las modelaciones realizadas en el Análisis de Inundación realizado en el apartado 10.

Habiendo determinado previamente la división de áreas aferentes dentro de la zona urbana, procedemos a asignar aquellas que vierten sus aguas hacia el canal existente:

Ilustración 17. Ubicación del canal pluvial existente.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Tabla 12. Resumen de áreas aferentes drenantes hacia el canal pluvial existente.

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-001-N	Norte	1.041	ICN-R56-TP01	C07-036-S	Sur	0.149	ICS-R05-TP08
C07-002-N	Norte	0.403	ICN-R56-TP02	C07-040-S	Sur	0.144	ICS-C01-TP02
C07-003-N	Norte	0.293	ICN-R56-TP03	C07-041-S	Sur	0.143	ICS-C01-TP07
C07-007-N	Norte	0.206	ICN-R56-TP06	C07-045-S	Sur	0.136	ICS-C01-TP16
C07-008-N	Norte	0.201	ICN-R56-TP07	C07-046-S	Sur	0.132	ICS-R05-TP04
C07-009-N	Norte	0.201	ICN-R56-TP04	C07-048-S	Sur	0.132	ICS-R01-TP04
C07-010-N	Norte	0.193	ICN-R56-TP09	C07-054-S	Sur	0.127	ICS-R02-TP01
C07-011-N	Norte	0.189	ICN-R56-TP10	C07-057-S	Sur	0.123	ICS-R05-TP05

Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido	Área Aferente	Sub zona	Área (Ha)	Tragante Aferido
C07-014-N	Norte	0.18	ICN-R56-TP05	C07-065-S	Sur	0.116	ICS-R05-TP01
C07-018-N	Norte	0.168	ICN-R56-TP08	C07-067-S	Sur	0.115	ICS-R04-TP02
C07-029-N	Norte	0.144	ICN-R56-TP11	C07-069-S	Sur	0.112	ICS-R03-TP02
C07-001-S	Sur	0.223	ICS-R05-TP07	C07-080-S	Sur	0.096	ICS-R03-TP01
C07-002-S	Sur	0.204	ICS-R01-TP03	C07-087-S	Sur	0.092	ICS-R04-TP01
C07-003-S	Sur	0.198	ICS-C01-TP11	C07-088-S	Sur	0.091	ICS-R02-TP04
C07-007-S	Sur	0.193	ICS-R06-TP01	C07-092-S	Sur	0.088	ICS-C01-TP04
C07-009-S	Sur	0.193	ICS-C01-TP23	C07-093-S	Sur	0.088	ICS-C01-TP22
C07-011-S	Sur	0.19	ICS-C01-TP10	C07-095-S	Sur	0.087	ICS-C01-TP17
C07-014-S	Sur	0.182	ICS-C01-TP09	C07-107-S	Sur	0.078	ICS-R05-TP14
C07-015-S	Sur	0.18	ICS-C01-TP08	C07-108-S	Sur	0.078	ICS-R05-TP11
C07-016-S	Sur	0.174	ICS-C01-TP18	C07-118-S	Sur	0.074	ICS-C01-TP01
C07-017-S	Sur	0.173	ICS-R05-TP02	C07-128-S	Sur	0.069	ICS-R02-TP03
C07-019-S	Sur	0.171	ICS-R05-TP03	C07-133-S	Sur	0.067	ICS-C01-TP20
C07-020-S	Sur	0.169	ICS-C01-TP19	C07-136-S	Sur	0.062	ICS-R05-TP09
C07-022-S	Sur	0.167	ICS-C01-TP15	C07-149-S	Sur	0.056	ICS-R04-TP03
C07-023-S	Sur	0.166	ICS-C01-TP12	C07-154-S	Sur	0.054	ICS-R06-TP02
C07-024-S	Sur	0.166	ICS-R05-TP12	C07-159-S	Sur	0.051	ICS-R02-TP05
C07-025-S	Sur	0.165	ICS-R05-TP06	C07-165-S	Sur	0.048	ICS-R03-TP03
C07-026-S	Sur	0.163	ICS-C01-TP14	C07-173-S	Sur	0.038	ICS-R01-TP05
C07-027-S	Sur	0.163	ICS-C01-TP03	C07-180-S	Sur	0.029	ICS-R01-TP01
C07-033-S	Sur	0.154	ICS-R05-TP13	C07-181-S	Sur	0.026	ICS-C01-TP05
C07-034-S	Sur	0.152	ICS-C01-TP13				

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyecco-Ingeotec.

Este aporte se transita en el modelado del canal en mención, haciendo uso de los escenarios especificados para cada uno de los periodos de retorno del análisis; lo que genera los caudales utilizados en el análisis de inundación desarrollado en el apartado 10.3.1. Se presenta a continuación los caudales obtenidos, para los periodos de diseño de 1:25, 1:50 y 1:100 años:

Tabla 13. Resumen de resultados de modelado del canal.

		Canal Existente (Tramo Ave. F)	Canal Existente (Tramo Calle 6ta.)
T 1:25 Años	Área Acum. (Ha)	3.219	6.251
	T. de concentr. (Min)	14.693	18.738
	I (mm/Hr)	194.028	167.014
	qi (m3/s)	1.47	2.46
	Q acum (m3/s)	3.94	
T 1:50 Años	I (mm/Hr)	216.933	187.440
	qi (m3/s)	1.49	2.57
	Q acum (m3/s)	4.06	
T 1:100 Años	I (mm/Hr)	242.475	209.894
	qi (m3/s)	1.84	3.10
	Q acum (m3/s)	4.94	

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Se tiene que para la condición existente existe un importante ingreso de aguas de mar, por el punto de descarga, en sentido aguas arriba del canal. Se suma a este efecto, lo desarrollado en el apartado 10.4; el cual indica que para la sección hidráulica existente, las lluvias modeladas superan la cota de borde superior de canal, y la lámina de agua inunda zonas aledañas.

Considerando todo lo anterior, se procede a una evaluación de las posibles mejoras a proponer.

8.1.5.2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVA DE CONDUCCIÓN POR SISTEMA CERRADO

Se opta por la división del canal en dos segmentos, uno paralelo a la Avenida F y el otro paralelo a la Calle sexta, los cuales dirigirán sus aguas hacia los sistemas de bombeo propuestos; esto con el objetivo de lograr una mejor distribución del caudal evacuado por los bombeos mencionados, evitando así incurrir en sobredimensionamiento de una de las estaciones con respecto a la otra, aumento excesivo de los diámetros, y profundidades los cuales encarecerían la ejecución de la obra y los tiempos de ejecución.

Se distingue rápidamente que el sistema sanitario en construcción es uno de los principales condicionantes para la proyección de tuberías, principalmente en el trazado paralelo a Calle sexta. Es importante recalcar que los tramos de alcantarillado sanitario en interferencia con la propuesta de alcantarillado pluvial evacuan hacia el sistema de bombeo de aguas residuales, que también se ubica en esta calle.

Ilustración 18. Interferencias del alcantarillado sanitario con el alcantarillado pluvial propuesto.



Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyec-ingeotec.

Dicho sistema cruza las intersecciones en las siguientes cotas:

Tabla 14. Localización y cotas de CIS de red sanitaria en interferencia con alcantarillado pluvial.

Localización CIS	Cota de fondo CIS
Intersección Ave. E y Calle 6ta	-1.683
Intersección Ave. E y Calle 6ta	-1.912

Intersección Ave. D y Calle 6ta	-1.840
Intersección Ave. D y Calle 6ta	-1.920
Intersección Ave. C y Calle 6ta	-1.980
Intersección Ave. B y Calle 6ta	-0.750

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

Teniendo esto en consideración, se desarrolla el modelo de conducto cerrado y se diseña en conjunto con el resto del sistema, para las condiciones y criterios establecidos. A continuación se presenta, a modo de resumen, los resultados más relevantes para los tramos evaluados:

Tabla 15. Resumen de resultados hidráulicos de alternativa de sistema cerrado.

			Datos del tubo			Elevaciones		
De	A	q	L	d	S			
Trag	Trag	m3/s	m	in	m/m	Inicial	Final	
(Inicial)	(Final)							
RAMAL 56	ICN-R56-TP1	ICN-R56-TP2	0.58	42.320	27	0.71%	-0.489	-0.789
	ICN-R56-TP2	ICN-R56-TP3	0.80	42.280	36	0.20%	-1.034	-1.119
	ICN-R56-TP3	ICN-R56-TP4	0.95	36.400	40	0.36%	-1.189	-1.319
	ICN-R56-TP4	ICN-R56-TP5	1.05	30.190	40	0.20%	-1.319	-1.379
	ICN-R56-TP5	ICN-R56-TP6	1.13	30.130	40	0.20%	-1.379	-1.440
	ICN-R56-TP6	ICN-R56-TP7	1.23	40.790	40	0.20%	-1.440	-1.521
	ICN-R56-TP7	ICN-R56-TP8	1.31	30.220	40	0.20%	-1.521	-1.582
	ICN-R56-TP8	ICN-R56-TP9	1.38	30.070	40	0.20%	-1.582	-1.642
COLECTOR 01	ICS-C01-TP01	ICS-C01-TP02	0.04	20.050	24	0.55%	-0.850	-0.960
	ICS-C01-TP02	ICS-C01-TP03	0.12	20.040	24	0.24%	-0.960	-1.008
	ICS-C01-TP03	ICS-C01-TP04	0.21	20.110	24	0.17%	-1.008	-1.041
	ICS-C01-TP04	ICS-C01-TP05	0.25	20.130	30	0.41%	-1.115	-1.197
	ICS-C01-TP05	ICS-C01-CP06	0.47	8.450	30	0.50%	-1.416	-1.458
	ICS-C01-CP06	ICS-C01-TP07	0.92	26.990	40	0.45%	-1.489	-1.611
	ICS-C01-TP07	ICS-C01-TP08	0.99	26.940	40	0.41%	-1.611	-1.721
	ICS-C01-TP08	ICS-C01-TP09	1.07	26.020	40	0.38%	-1.721	-1.821
	ICS-C01-TP09	ICS-C01-TP10	1.16	26.980	40	0.37%	-1.821	-1.921

			Datos del tubo			Elevaciones	
De	A	q	L	d	S		
Trag	Trag	m ³ /s	m	in	m/m	Inicial	Final
(Inicial)	(Final)						
ICS-C01-TP10	ICS-C01-TP11	1.25	28.040	44	0.36%	-1.921	-2.021
ICS-C01-TP11	ICS-C01-TP12	1.34	29.960	44	0.33%	-2.021	-2.121
ICS-C01-TP12	ICS-C01-TP13	1.41	29.440	44	0.50%	-2.121	-2.269
ICS-C01-TP13	ICS-C01-CP14	1.48	11.230	44	0.38%	-2.269	-2.311
ICS-C01-CP14	ICS-C01-TP15	1.71	21.530	44	0.40%	-2.311	-2.398
ICS-C01-TP15	ICS-C01-TP16	1.77	25.750	44	0.40%	-2.398	-2.501
ICS-C01-TP16	ICS-C01-TP17	1.84	25.020	44	0.40%	-2.501	-2.601
ICS-C01-TP17	ICS-C01-TP18	1.89	25.530	44	0.40%	-2.601	-2.703
ICS-C01-TP18	ICS-C01-TP19	2.04	34.580	56	0.05%	-3.782	-3.799
ICS-C01-TP19	ICS-C01-TP20	2.08	31.900	56	0.05%	-3.799	-3.815
ICS-C01-TP20	ICS-C01-TP21	2.13	25.250	64	0.05%	-3.815	-3.828
ICS-C01-TP21	ICS-C01-CP22	2.14	10.210	64	0.05%	-3.828	-3.833
ICS-C01-CP22	ICS-C01-TP23	2.14	20.270	64	0.05%	-3.833	-3.843
ICS-C01-TP23	ICS-C01-TP24	2.15	22.360	64	0.05%	-3.843	-3.854
ICS-C01-TP24	BOMBEO SUR	2.17	11.190	64	0.05%	-3.854	-3.860

Fuente: Elaborado por el Consorcio Proyeco-Ingeotec.

La modelación resultante, muestra la necesidad de profundizar el ramal propuesto en el punto ICS-C01-TP18 (elev. Invert. -3.782) donde el sistema sanitario conecta con la EBAR respectiva, esto es en la Intersección de Avenida C con Calle sexta; además y producto de esta profundización, los tramos posteriores al ICS-C01-TP18 entran en condición de flujo ahogado con respecto a la descarga al bombeo Sur. A continuación, se presentan los perfiles de este ramal, donde se evidencia lo expuesto: