



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas
pluviales de la urbanización El Chilcal**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Jhoan Marco Niño Cotrina
Michelle Xiomara Garcia Chozo**

Asesor(es):
Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Piura, marzo de 2021



Como creyente agradezco a Dios por darme la salud para llevar a cabo este proyecto. Dedico de manera especial a mi madre, Dora, y a mi hermana Ileana por ser ejemplos de responsabilidad y superación; a Walter mi padre y, mis hermanos: Erick, Cristhian y Viviana por su apoyo incondicional y aliento brindado en todo momento.

Jhoan

A Dios por inspirar inteligencia, sabiduría, perseverancia y discernimiento para poder escuchar su voluntad y dejarlo obrar en mi vida. A mis padres, Arturo García y, Rosario Chozo; quienes con sus sabias palabras y experiencia han sabido guiarme a buscar el éxito personal y profesional. También, a mis dos hermanos, Jhonathan y Christian, quienes alientan cada paso que doy y me motivan a buscar siempre lo mejor.

Michelle



Resumen Analítico-Informativo

Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas pluviales de la urbanización El Chilcal

Michelle Xiomara García Chozo, Jhoan Marco Niño Cotrina

Asesor(es): Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Tesis.

Ingeniero Civil

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, marzo de 2021

Palabras claves: Cuenca ciega/ Fenómeno El Niño/ Sumidero/ Estanque de almacenamiento/ Sistema de bombeo/ Impacto ambiental

Introducción: En la ciudad de Piura existen varias cuencas ciegas, muchas de estas presentan un terreno con muchas depresiones, sobre las cuales se han construido urbanizaciones, edificios, viviendas, etc. sin tener un plan de contingencia que evite que los fenómenos naturales ocasionen daños. Las desafortunadas experiencias, como las fuertes lluvias y el desborde del río Piura, han hecho notar la falta de una planificación y prevención para afrontar estos tipos de fenómenos. Esta tesis busca desarrollar un sistema óptimo y funcional en la cuenca El Chilcal, el cual facilitará la conducción de las aguas pluviales de manera segura para evitar los daños que estas aguas puedan ocasionar a las propiedades y a las vías.

Metodología: Se realizó una nivelación topográfica de toda la cuenca El Chilcal, a partir de ahí se trazaron las subcuencas y las direcciones de los flujos de escorrentía. Conociendo el punto de convergencia de las aguas de lluvia, se procedió a calcular el caudal de diseño con el que se va a diseñar todas las estructuras de drenaje. Entre los parámetros que se han empleado en el diseño tenemos: la intensidad, el tiempo de concentración, área de drenaje y los criterios que nos ofrece la norma de drenaje pluvial urbano OS.060. Finalmente, se plantearon niveles de inundación y en base a estos se seleccionaron las capacidades de las bombas hidráulicas y el rediseño del estanque de almacenamiento.

Resultados: En el capítulo 5 se muestran los resultados del diseño de los elementos que conforman el sistema de drenaje pluvial, dicho sistema contempla: el diseño de las cunetas y rejillas, transversales al eje de vía; diseño de las tuberías, seleccionadas con políéster reforzado con fibra de vidrio; selección de las bombas hidráulicas, rediseño del estanque de almacenamiento y finalmente, en el capítulo 6, se presenta un análisis preliminar del impacto ambiental.

Conclusiones: El sistema de bombeo diseñado establece trabajar con bombas de diferentes capacidades, los cuales nos van a permitir evacuar tormentas de diferentes magnitudes. Con esto garantizamos la evacuación pluvial de la cuenca El Chilcal sin generar daños a las propiedades ni a los habitantes.

Fecha de elaboración del resumen: 16 de febrero de 2021

Analytical-Informative Summary

Diseño y optimización del sistema de drenaje de las aguas pluviales de la urbanización El Chilcal

Michelle Xiomara García Chozo, Jhoan Marco Niño Cotrina

Asesor(es): Dr. Ing. Jorge Demetrio Reyes Salazar

Tesis.

Ingeniero Civil

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Piura, marzo de 2021

Keywords: blind basin / El Niño phenomenon / Sump / Storage pond / Pumping system / Environmental impact

Introduction: In the city of Piura there are several blind basins, many of these present a terrain with many depressions, on which urbanizations, buildings, houses, etc. have been built. without having a contingency plan that prevents natural phenomena from causing damage. The unfortunate experiences, such as the heavy rains and the overflowing of the Piura River, have highlighted the lack of planning and prevention to face these types of phenomena. This thesis seeks to develop an optimal and functional system in the El Chilcal basin, which will facilitate the conduction of rainwater safely to avoid the damage that these waters may cause to properties and roads.

Methodology: A topographic leveling of the entire El Chilcal basin was carried out, from there the sub-basins and the directions of the runoff flows were traced. Knowing the point of convergence of the rainwater, we proceeded to calculate the design flow with which all the drainage structures will be designed. Among the parameters that have been used in the design we have: intensity, concentration time, drainage area and the criteria offered by the urban storm drainage standard OS.060. Finally, flood levels were proposed and based on these, the capacities of the hydraulic pumps and the redesign of the storage pond were selected.

Results: Chapter 5 shows the results of the design of the elements that make up the storm drainage system, said system includes: the design of the gutters and gratings, transverse to the axis of the track; design of the pipes, selected with polyester reinforced with fiberglass; selection of hydraulic pumps, redesign of the storage tank and finally, in Chapter 6, a preliminary analysis of the environmental impact is presented.

Conclusions: The designed pumping system establishes working with pumps of different capacities, which will allow us to evacuate storms of different magnitudes. With this, we guarantee the pluvial evacuation of the El Chilcal basin without causing damage to properties or inhabitants.

Summary date: February 16th, 2021

Prefacio

Las inundaciones propiciadas por El Niño Costero 2017 en el Perú fueron devastadoras y destructivas para el país, siendo la ciudad de Piura la más afectada. Se afectaron 1.5 millones de personas y, causaron 162 muertos y se registraron daños por cientos de miles de hogares. Su impacto se compara con las inundaciones producidas por el Fenómeno El Niño en 1982-1983 y 1997-1998 (Venkateswaran, MacClune & Enríquez, 2017).

La ciudad de Piura presenta varias cuencas ciegas, debido a terrenos que cuentan con depresiones, siendo uno de ellos el caso de la urbanización, El Chilcal, que se encuentra dentro de una zona de alto riesgo de inundación. Esta tragedia es también vista como una oportunidad y desafío, para entender los vacíos, desarrollar resiliencia y, reducir fundamentalmente el riesgo de desastres, motivo principal por lo que nos conllevó a realizar esta investigación y desarrollar una alternativa de solución.

Esta tesis busca rediseñar el sistema de drenaje seleccionando las bombas adecuadas para que trabajen a partir de un nivel de inundación el cual no genere situaciones críticas, por decir; un nivel que no afecte el sistema eléctrico, el caudal de escorrentía originado, este será recolectado mediante rejillas transversales a la calzada para luego ser conducido por medio de tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio y disponer finalmente, hacia una caseta de bombeo, para luego, por medio de las bombas ser entregados al dren César Vallejo.

Agradecemos el apoyo incondicional de nuestro tutor y, asesor de tesis, Dr. Ing. Jorge Reyes, por sus conocimientos, la acertada orientación, el soporte y discusión crítica que nos permitió un buen aprovechamiento durante la época universitaria de nuestra formación, y en el desarrollo del presente proyecto de tesis.



Tabla de contenido

Introducción	3
Capítulo 1. Aspectos generales.....	3
1.1. Drenaje pluvial urbano	3
1.1.1. Importancia del drenaje pluvial urbano.....	3
1.1.2. Sistema de drenaje pluvial urbano.....	5
1.1.3. Componentes del sistema de drenaje pluvial urbano.....	5
1.1.3.1. Estructuras de captación.....	5
1.1.3.2. Estructuras de conducción.....	6
1.1.3.3. Estructuras de vertido.....	8
1.1.3.4. Disposición final.....	8
1.2. Urbanización y drenaje.....	8
1.2.1. Impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico.....	9
1.2.2. Impactos de la urbanización sobre los hábitats.....	10
1.2.3. Impactos de la urbanización sobre la calidad del agua.....	10
1.2.4. Impactos de la urbanización sobre la geomorfología de los cauces.....	11
1.3. Sistemas de evacuación	11
1.3.1. Sistema de evacuación por gravedad.....	11
1.3.2. Sistema de evacuación por bombeo.....	12
1.3.3. Sistema de evacuación mixto.....	12
1.4. Captación en zona vehicular.....	13
1.5. Capacidad hidráulica de calles	13
1.6. Consideraciones en el diseño hidráulico	15

1.6.1. Diámetro de los tubos.....	15
1.6.2. Resistencia.....	16
1.6.3. Velocidades	16
1.6.3.1. Velocidad mínima.	16
1.6.3.2. Velocidad máxima.....	17
1.6.4. Pendiente mínima.....	17
1.6.5. Altura de relleno.....	17
1.7. Estructuras de captación pluvial.....	18
1.7.1. Cunetas.....	18
1.7.2. Sumideros.....	23
1.7.2.1. Tipos de sumideros.....	23
1.7.2.2. Ubicación de los sumideros.....	31
1.7.2.3. Espaciamiento de los sumideros.....	32
1.7.2.4. Diseño hidráulico de los sumideros.....	32
1.7.3. Rejillas.....	32
1.8. Estación de bombeo	35
1.8.1. Tipos de estación.....	36
1.8.1.1. Estación de bombeo inundado.....	36
1.8.1.2. Estación de bombeo de cámara seca.....	36
1.8.2. Criterios de diseño de una estación de bombeo.....	37
1.8.2.1. Confiabilidad.....	37
1.8.2.2. Economía.....	37
1.8.2.3. Adaptabilidad.....	37
1.8.2.4. Versatilidad.....	38
1.8.2.5. Seguridad.....	38
1.8.3. Componentes principales de una estación de bombeo.....	39
1.8.3.1. Canal de entrada/aducción.....	39

1.8.3.2. Pozo de bombeo o cámara de succión.....	39
1.8.3.3. Casa de bombas.....	39
1.8.4. Equipo de bombeo.....	39
1.8.4.1. Bombas centrífugas	39
1.8.4.2. Bombas de desplazamiento positivo	40
Capítulo 2. Descripción del área de estudio	41
2.1. Ubicación de las zonas de interés.....	41
2.2. Descripción de las zonas de drenaje.....	41
2.2.1. Generalidades.....	41
2.2.2. Cuenca del río Piura.....	42
2.3. Fenómeno El Niño	45
2.3.1. Descripción.....	45
2.3.2. Formación del Fenómeno El Niño	45
2.3.2.1. Periodo de retorno	47
2.3.2.2. Aumento en la temperatura.....	48
2.3.2.3. Fuertes lluvias.....	48
2.3.2.4. Incremento del caudal.....	49
2.3.3. Impactos en la costa norte del Perú.....	51
2.4. Diagnóstico socio urbano y estructural del drenaje superficial actual	55
2.5. Descripción de la problemática	58
2.6. Alternativas y selección del sistema de drenaje pluvial	58
2.6.1. Soluciones alternativas a la evacuación directa.....	60
2.6.1.1. Almacenamiento temporal de las aguas de lluvias.....	60
2.6.1.2. Infiltración de aguas lluvias.....	62
2.6.1.3. Combinaciones de almacenamiento e infiltración.....	64
2.6.1.4. Desconexión de áreas impermeables.....	65
Capítulo 3. Estudio topográfico	67

3.1. Reconocimiento del área de estudio.....	67
3.2. Metodología de campo.....	70
3.3. Nivelación topográfica.....	70
3.3.1. Clases de nivelación.....	71
3.3.1.1. Nivelación simple.....	71
3.3.1.2. Nivelación compuesta.....	71
3.3.1.3. Nivelación abierta y cerrada.....	71
3.3.2. Tipos de errores suscitados en una nivelación.....	71
3.3.2.1. Error de esfericidad.....	71
3.3.2.2. Error de refracción.....	72
3.4. Trabajo de gabinete.....	72
Capítulo 4. Análisis hidrológico.....	77
4.1. Método racional.....	77
4.1.1. Área de drenaje.....	79
4.1.1.1. Área aportante de techos.....	79
4.1.1.2. Área tributaria acumulativa.....	83
4.1.2. Coeficiente de escorrentía.....	86
4.1.3. Periodo de retorno.....	90
4.1.4. Tiempo de concentración.....	92
4.1.5. Información pluviométrica.....	95
4.1.6. Intensidad de lluvia.....	96
4.2. Método del hidrograma unitario.....	106
4.2.1. Hietograma de diseño.....	106
4.2.2. Hietograma efectivo.....	110
4.2.3. Método curva número.....	110
4.2.4. Hidrograma unitario.....	117
Capítulo 5. Diseño del sistema de drenaje pluvial.....	123

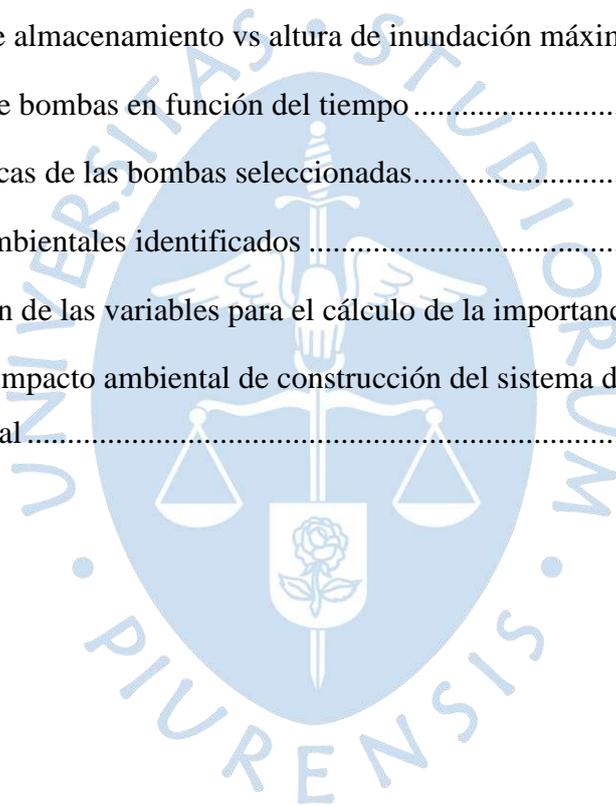
5.1. Sistema planteado.....	123
5.2. Diseño del sistema pluvial.....	123
5.2.1. Estructuras de captación.....	123
5.2.1.1 .Diseño de rejillas.....	124
5.2.1.2. Diseño de cunetas transversales.....	125
5.2.1.3. Diseño de tuberías.....	126
5.2.2. Estanque de almacenamiento.....	128
5.2.3. Sistema de bombeo.....	129
5.2.3.1. Volumen generado por la tormenta.....	129
5.2.3.2. Nivel de inundación.....	135
5.2.3.3. Selección de bombas.....	140
5.3. Modelo de las bombas.....	145
Capítulo 6. Evaluación ambiental preliminar.....	149
6.1. Situación inicial.....	149
6.2. Alcances.....	149
6.3. Área de influencia.....	150
6.3.1. Área de influencia directa.....	150
6.3.2. Área de influencia indirecta.....	151
6.4. Identificación y evaluación de los impactos.....	151
6.5. Metodología para la evaluación de impacto ambiental.....	152
6.6. Determinación de la importancia de los efectos.....	152
6.7. Análisis de la matriz de calificación de impactos.....	157
6.8. Medidas de prevención, mitigación y/o corrección de impactos.....	160
6.8.1. Plan de manejo ambiental.....	160
6.8.2. Plan de prevención y mitigación de impactos.....	160
6.8.3. Programa de monitoreo.....	161

6.8.4. Plan de contingencia.....	161
6.8.5. Plan de seguridad y salud en el trabajo.....	161
6.8.6. Plan de relaciones comunitarias.....	162
6.9. Plan de abandono.....	162
Conclusiones.....	163
Recomendaciones.....	165
Referencias bibliográficas.....	167
Apéndices.....	173
Apéndice A: Toma de medidas de ancho y longitud de las calzadas.....	175
Apéndice B.1: Área de drenaje aportante de cada tramo.....	178
Apéndice B.2: Cálculo de coeficiente de escorrentía de cuenca urbana El Chilcal.....	183
Apéndice C.1: Cálculo del tiempo de concentración.....	186
Apéndice C.2: Cálculo del caudal de escorrentía.....	191
Apéndice D.1: Cálculo del hietograma de diseño para un tr = 25 años.....	196
Apéndice D.2: Cálculo de las abstracciones y del hietograma de exceso de lluvia para un tr = 25 años.....	200
Apéndice E: Plano del sistema de drenaje pluvial de la urbanización El Chilcal.....	204
Anexos.....	205
Anexo A.1: Perfil estratigráfico típico obtenido del barreno manual P-13.....	207
Anexo A.2: Sondeaje N°09.....	208

Lista de tablas

Tabla 1. Beneficios deseados de un sistema de drenaje pluvial.....	4
Tabla 2. Diámetros mínimos de tuberías en conectores de agua lluvia	15
Tabla 3. Velocidad máxima permisible para tuberías de drenaje, con contenido de agua y fragmentos de arena y grava.	16
Tabla 4. Coeficiente de rugosidad de tuberías según el tipo de material	17
Tabla 5. Coeficiente de escorrentía de Manning.....	22
Tabla 6. Velocidades límites permisibles.....	23
Tabla 7. Rango de eficiencia hidráulica de rejillas	35
Tabla 8. Número de equipos de reserva en función a los equipos operables.....	38
Tabla 9. Fenómenos El Niño más intensos que sucedieron en el Perú.....	47
Tabla 10. Caudales máximos diarios – periodo diciembre 2016 – abril 2017	49
Tabla 11. Coeficientes de escorrentía promedio para áreas urbanas para 5 y 10 años de periodo de retorno	83
Tabla 12. Coeficientes de escorrentía promedio para áreas rurales	88
Tabla 13. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional.....	89
Tabla 14. Relación de ancho de la bifurcación a 90°.....	90
Tabla 15. Fórmula para el cálculo de tiempo de concentración.....	94
Tabla 16. Condiciones antecedentes de humedad (AMC) básicas empleadas en el método SCS.....	111
Tabla 17. Grupo de suelo según el tipo de suelo.....	112
Tabla 18. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub urbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, Ia – 0.2S)	113

Tabla 19. Cálculo del CN.....	114
Tabla 20. Rejillas transversales.....	124
Tabla 21. Cunetas transversales	125
Tabla 22. Parámetros de las tuberías tramo: cuneta – colector	127
Tabla 23. Parámetros de las tuberías tramo: colector – estanque.....	127
Tabla 24. Dimensiones del estanque	129
Tabla 25. Volumen generado por la tormenta.....	129
Tabla 26. Volumen de almacenamiento máximo de calles a una cota de 28.607msnm	137
Tabla 27. Volumen de almacenamiento vs altura de inundación máxima.....	140
Tabla 28. Selección de bombas en función del tiempo.....	141
Tabla 29. Características de las bombas seleccionadas.....	147
Tabla 30. Impactos ambientales identificados	151
Tabla 31. Valorización de las variables para el cálculo de la importancia del impacto.....	156
Tabla 32. Estudio de impacto ambiental de construcción del sistema de drenaje pluvial en la urbanización El Chilcal	158



Lista de figuras

Figura 1. Tipos de bocas de tormenta	6
Figura 2. Secciones transversales de conductos cerrados	7
Figura 3. Secciones transversales de conductos a cielo abierto	7
Figura 4. Variaciones porcentuales generadas por un proceso de urbanización	9
Figura 5. Fórmula de Manning para la determinación de caudal	14
Figura 6. Ejemplo de sección transversal de una calle	14
Figura 7. Secciones transversales de cunetas	19
Figura 8. Fórmula de Manning en la determinación de caudales en cunetas triangulares	21
Figura 9. Plano de ingreso en el sumidero de solera	24
Figura 10. Sumidero de fondo	25
Figura 11. Sumideros mixtos o combinados	25
Figura 12. Sumidero de tipo grande conectado a cámara – S1	27
Figura 13. Sumidero de tipo grande conectado a tubería – S2	28
Figura 14. Sumidero de tipo chico conectado a cámara - S3	29
Figura 15. Sumidero de tipo chico conectado a la tubería – S4	30
Figura 16. Ubicación de los sumideros en intersección de las calles	31
Figura 17. Rejillas de fierro fundido para sumideros	33
Figura 18. Rejillas de fierro laminado	34
Figura 19. Pozo de bombeo de la avenida Grau	39
Figura 20. Catacaos tras el ingreso del río	45
Figura 21. Diferencias en condiciones normales y en condiciones El Niño	46

Figura 22. Río Tumbes (estación El Tigre).....	50
Figura 23. Río Piura (estación Puente Sánchez Cerro)	50
Figura 24. Plaza de armas de Piura inundada por el Niño Costero.....	52
Figura 25. Destrucción de carretera durante el Fenómeno El Niño Costero.....	53
Figura 26. Aire contaminado después del Fenómeno El Niño Costero en Piura.....	54
Figura 27. Sembríos arrasados por los embates de la naturaleza	55
Figura 28. Urbanización El Chilcal durante el Fenómeno El Niño Costero	56
Figura 29. Rejillas transversales en el punto más bajo de la urbanización El Chilcal.....	57
Figura 30. Sistema de drenaje pluvial urbano de la ciudad de Piura y Castilla	59
Figura 31. Esquema de los elementos principales de una laguna de retención.....	61
Figura 32. Esquema de los elementos principales de un estanque de retención	61
Figura 33. Elementos de una zanja.....	62
Figura 34. Elementos típicos de un pozo de infiltración.....	63
Figura 35. Disposición de los elementos de un estanque de infiltración	63
Figura 36. Disposición difusa local.....	64
Figura 37. Disposición concentrada lateral	65
Figura 38. Comparación entre un enfoque tradicional y uno que promueve la desconexión de áreas impermeables	66
Figura 39. Mapa de área de impacto FEN.....	68
Figura 40. Mapa de peligros de la ciudad de Piura	69
Figura 41. Error de esfericidad.....	72
Figura 42. Error de refracción	72
Figura 43. Cota de los puntos nivelados	74
Figura 44. Dirección y sentido de los caudales de escorrentía dentro de la cuenca El Chilcal.....	75
Figura 45. Subdivisión de la cuenca El Chilcal	76
Figura 46. División de área de drenaje en manzanas rectangulares.....	80

Figura 47. División de área de drenaje en manzanas en forma de U	80
Figura 48. División para parque de forma irregular	81
Figura 49. Área tributaria de los techos dentro de la cuenca El Chilcal	82
Figura 50. Modelo 1 en bifurcaciones.....	84
Figura 51. Modelo 2 en bifurcaciones.....	84
Figura 52. Modelo 3 en bifurcaciones.....	85
Figura 53. Distribución de porcentajes en las calles	85
Figura 54. Escorrentía superficial	86
Figura 55. Esquema de la cuenca de un río.....	93
Figura 56. Curvas IDF para la ciudad de Piura.....	97
Figura 57. Variables hidráulicas en conducto circular	102
Figura 58. Hietograma de diseño para una tormenta de $Tr=25$ años	109
Figura 59. Intensidad total y intensidad efectiva para un $Tr=25$ años	116
Figura 60. Hidrograma unitario triangular del SCS	118
Figura 61. Hidrograma unitario.....	119
Figura 62. Hidrograma de diseño para un $Tr=25$ años.....	121
Figura 63. Rejillas de la urbanización Santa Isabel	124
Figura 64. Espaciamiento de las rejillas.....	125
Figura 65. Diseño de conexión cuneta - tubería.....	126
Figura 66. Sección transversal de la cuneta	126
Figura 67. Cota de los colectores y estanque	128
Figura 68. Volumen total acumulado vs tiempo	134
Figura 69. Verificación de nivel de inundación máxima	135
Figura 70. Esquema del cálculo de volumen de almacenamiento en las calles	136
Figura 71. Curva de nivel de inundación máxima a 28.607msnm para un $tr=25$ años	139
Figura 72. Volumen almacenado vs tiempo.....	142
Figura 73. Hito de niveles de inundación.....	145

Figura 74. Curva de operación – bombas de doble succión 12x16x18 (1150RPM)..... 146

Figura 75. Curva de operación – bombas de doble succión 12x16x18 (870RPM)..... 146

Figura 76. Curva de operación – bombas de doble succión 12x16x18L (870RPM) 147



Introducción

En el primer capítulo se describe la importancia del drenaje pluvial urbano, el proceso de urbanización y, los criterios para el diseño de las estructuras hidráulicas definidas en la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano.

En el segundo capítulo se muestra una información detallada del área de estudio, la urbanización El Chilcal. Se describe también la principal causa de inundaciones urbanas, el Fenómeno El Niño.

En el tercer capítulo se presenta la metodología de campo que se trabajó al momento de realizar la nivelación topográfica de la cuenca de estudio y, a la vez se presenta el trabajo de gabinete respectivo de la nivelación topográfica.

En el cuarto capítulo se hace referencia a los dos métodos fundamentales: El método racional para el cálculo de los caudales de escorrentía, que servirá para el diseño de las cunetas y tuberías y, por otro lado, se emplea el método del hidrograma unitario para obtener el hidrograma de diseño de la tormenta en función del tiempo, que valdrá para la selección de las bombas en determinados rangos de tiempo.

En el quinto capítulo se desarrolla todos los cálculos para el diseño del sistema de drenaje pluvial, diseñándose el sistema de bombeo y, las estructuras de captación.

En el último capítulo, sexto capítulo, se desarrolla la evaluación ambiental preliminar de impactos ambientales, donde se presenta un análisis de las ventajas y desventajas que se presenta ante la ejecución del proyecto.



Capítulo 1

Aspectos generales

1.1 Drenaje pluvial urbano

Cuando llueve, el agua no infiltrada escurre por las calles y, por el terreno natural hacia las partes bajas, donde finalmente se puede almacenar dando lugar a un problema para la población o se puede conducir hacia los arroyos naturales mediante un sistema de drenaje adecuado.

Los sistemas de drenaje, dependiendo de su función, se clasifican en sanitarios cuando transportan sólo aguas residuales; pluviales, cuando conducen solamente agua de lluvia, y por último combinados cuando desalojan ambos tipos de aguas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

La ciudad de Piura presenta una serie de drenes distribuidos de acuerdo a la topografía que presenta la ciudad, por donde se logra evacuar los flujos de escorrentía generados por las precipitaciones. Actualmente algunos drenes no están en funcionamiento debido a la obstrucción de basura y material vegetal.

1.1.1 Importancia del drenaje pluvial urbano

En toda zona urbana, durante épocas de precipitaciones, surge la necesidad de evacuar el agua de lluvia para reducir, así los riesgos; tanto para la población como para las edificaciones. Las construcciones de edificios, casas, la pavimentación de calles, estacionamientos entre otras, han hecho que el entorno natural se modifique generando de esta forma áreas poco permeables, las cuales incrementan los volúmenes que escurren superficialmente, en vista a este acontecimiento, al hombre le urge la necesidad de diseñar sistemas de drenaje pluvial para solucionar el problema.

Un sistema de drenaje pluvial urbano es importante debido a que busca disminuir al máximo, los daños que las aguas de lluvia pueden ocasionar a las personas y, a las propiedades del medio urbano. De la misma manera va a asegurar una vida tranquila de los ciudadanos, permitiendo un buen tránsito vehicular como peatonal durante periodos de precipitaciones. En la tabla 1 se puede apreciar una serie de beneficios que nos ofrece un sistema de drenaje pluvial en distintos sectores:

Tabla 1. Beneficios deseados de un sistema de drenaje pluvial

Sector	Beneficios deseados
Salud	Evitar empozamientos, que luego se convierten en criaderos de mosquitos y zancudos que transmiten el dengue, zika y chikunguña.
	Evitar la contaminación de quebradas, ríos, entre otros, cuando el agua superficial arrastre basuras y, químicos, y estas aguas pluviales no sean tratadas.
	Almacenar las aguas de lluvias, para que en periodos de sequías se pueden destinar el agua de lluvia a las actividades como la agricultura.
Seguridad	Garantizar la seguridad de tránsito para peatones y vehículos durante fuertes precipitaciones.
	Minimizar los daños a las infraestructuras urbanas y, habitantes ante la ocurrencia de tormentas.
Social	Crear áreas naturales de valor ambiental.
	Mejorar la belleza de una zona urbana, incrementando el valor de las zonas donde se implanten.
	Permitir aliviar el sistema de alcantarillado colapsado o deficiente.
	El paisaje se embellece.
Económico	Disminuir las pérdidas económicas por daños ocasionados por inundaciones.
	Incrementar el precio de las urbanizaciones ya que se mejora el entorno.
	Disminuir el gasto en la captación y otras obras hidráulicas.

Fuente: Elaboración propia.

1.1.2 Sistema de drenaje pluvial urbano

El drenaje pluvial urbano como sistema, tiene su función principal: el manejo, control y conducción adecuada de la escorrentía de las aguas de lluvia y, las separa de las aguas residuales. Llevándolas a sitios donde no produzca daño e inconvenientes a los moradores de las ciudades (SIAPA, 2014).

El mencionado sistema, permite el manejo adecuado del agua de las precipitaciones en las ciudades; evita el deterioro en las edificaciones y, obras públicas (pistas, redes de agua, redes eléctricas, etc.), atendiendo la recaudación del agua que pueda generar focos de infección y/o transmisión de enfermedades (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

La norma OS.060 de drenaje pluvial urbano nos indica que la planificación y diseño de un sistema de drenaje pluvial urbano, debe tener en cuenta una serie de criterios para poder aplicar a los nuevos proyectos que contemplen drenajes urbanos y, los ya existentes, deben adecuarse de manera progresiva (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

1.1.3 Componentes del sistema de drenaje pluvial urbano

1.1.3.1 Estructuras de captación. Se considera a las obras destinadas a extraer o recolectar una determinada cantidad de agua, con relación a los sistemas de drenaje pluvial urbano, la boca de tormenta se utiliza como estructura de captación. Así mismo, en las captaciones se coloca una rejilla o coladera que tiene como función, evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos, siendo conocidas como coladeras pluviales (SIAPA, 2014).

Bocas de tormenta: Se encarga de recoger el agua de la lluvia que circula sobre la superficie del terreno y, luego la conduce a un sistema de drenaje. De la misma manera estas interceptan el flujo superficial ubicándose aguas arriba del cruce de las calles, antes de los cruces peatonales y, en las avenidas de importancia, se coloca en los puntos más bajos donde se pueda acumular el agua. Las bocas de tormenta están integradas por una rejilla que permite el paso del agua y, bloquea el paso de residuos sólidos que pueden obstruir las obras de conducción. De la misma manera están constituidas por una caja principal y, otra más

pequeña en el fondo que funciona como desarenador que permite depositar las partículas en suspensión que arrastra el agua (SIAPA, 2014).

Entre los tipos de bocas de tormenta tenemos las caladeras pluviales, de piso, banqueta, combinadas, longitudinales y transversales, así como se muestran en la figura 1, las cuales se deben diseñar para soportar los caudales de drenaje pluvial, su geometría dependerá de las características del flujo y de la región.

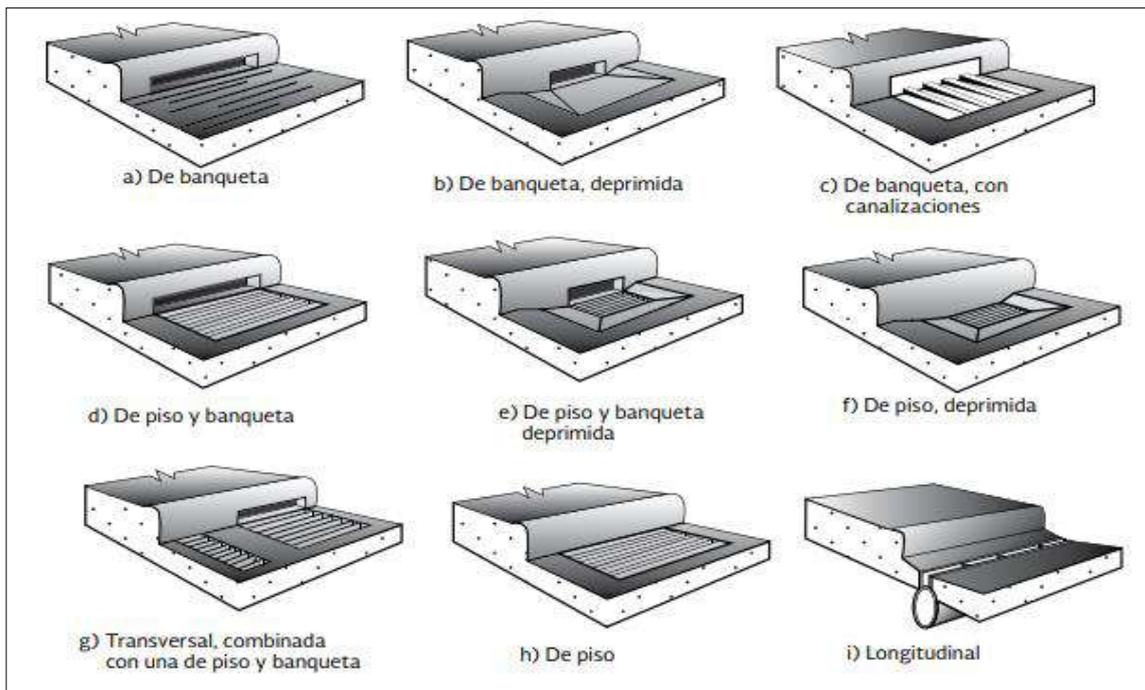


Figura 1. Tipos de bocas de tormenta

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

1.1.3.2 Estructuras de conducción. Las estructuras de conducción enmarcan, aquellas estructuras que conducen el agua desde el punto de recolección por las obras de captación hasta el punto de almacenamiento, estas estructuras representan la parte base y, esencial de un sistema de drenaje formados por estructuras abiertas como canales y, cerradas como tuberías. Se diseñan para un flujo a superficie libre (SIAPA, 2014).

Los conductos pueden clasificarse según el método de construcción y, el tipo de material. Existen dos tipos de conductos según el punto de su construcción (SIAPA, 2014):

1. Conductos prefabricados: Normalmente se les denomina tubería y están constituidos con diversos sistemas de unión o ensamble, cuya estructura es de sección circular.
2. Conductos construidos in situ: De manera frecuente se fabrican de concreto reforzado y, pueden ser estructuras cerradas o abiertas.

Las estructuras cerradas se construyen con secciones transversales de forma semi elíptica, herradura, circular, rectangular o en bóveda, tal como se muestran en la figura 2.

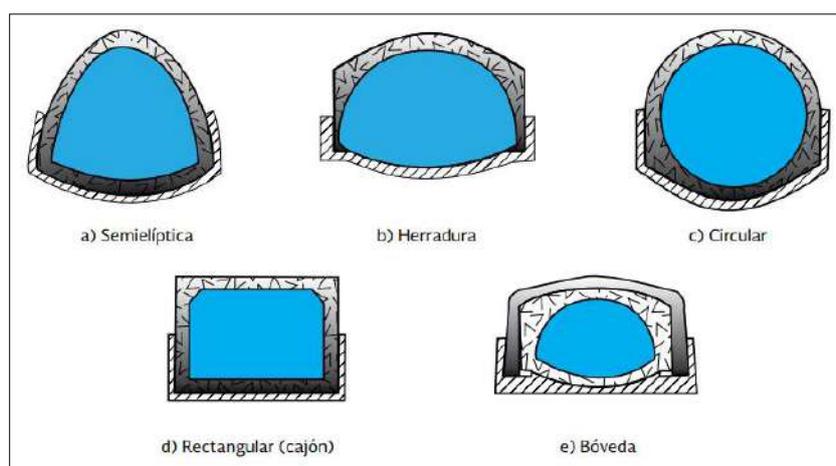


Figura 2. Secciones transversales de conductos cerrados
Fuente: SIAPA, 2014.

Dentro de las estructuras abiertas, las más utilizadas corresponden a canales de sección rectangular, trapezoidal, triangular o una combinación de éstas como las que se muestran en la figura 3.

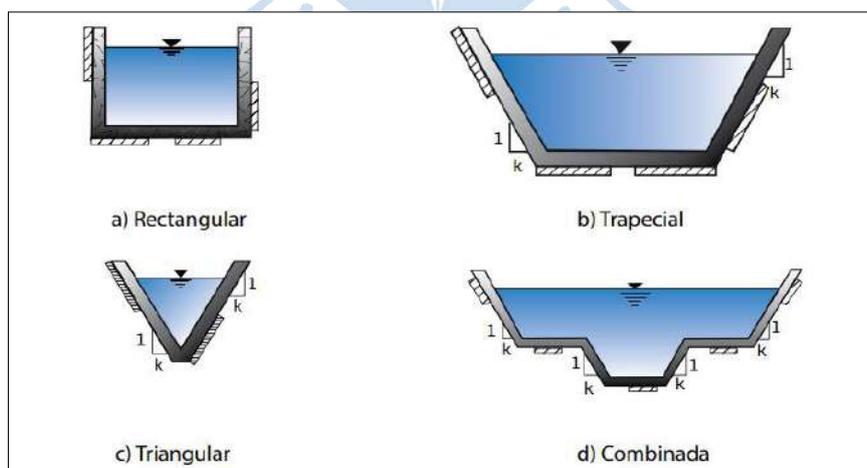


Figura 3. secciones transversales de conductos a cielo abierto
Fuente: SIAPA, 2014.

1.1.3.3 Estructuras de vertido. Las estructuras de vertido son aquellas obras finales del sistema de drenaje que protegen al tramo final de la corriente de descarga de la red y a la vez aseguran una descarga continua (SIAPA, 2014).

Se definen dos tipos de estructuras para las descargas (SIAPA, 2014):

1. Estructuras de vertido en conductos cerrados: Cuando la conducción de una red de drenaje es entubada.
2. Estructuras de vertido en canal abierto: Cuando la estructura es en canal abierto.

1.1.3.4 Disposición final. A pesar de que no es una estructura que forme parte del sistema, es una pieza importante del proyecto ya que aquí se recibe el flujo final del agua de un sistema de drenaje. La disposición final se debe señalar con anterioridad a empezar un proyecto para evitar graves daños debido a las descargas de las aguas pluviales; y en muchos casos se define como una estructura de descarga para verter las aguas a una corriente natural (SIAPA, 2014).

Se pueden clasificar en dos tipos de estructuras de descarga (SIAPA, 2014):

1. Estructura de descarga con conducto cerrado: Esta se da cuando el emisor de la red es entubado, generalmente se requiere verter el agua a una corriente receptora que posee cierta velocidad y dirección.
2. Estructura de descarga con canal abierto: Consiste en un canal, construido generalmente de mampostería y el ancho se incrementa gradualmente hasta la corriente receptora, con esto se evita la socavación del terreno natural.

1.2 Urbanización y drenaje

La población urbana ha ido incrementando durante siglos. A partir del siglo XIX, con el estallido de la revolución industrial, comenzó a generarse la migración en gran escala de las personas que vivían en zonas rurales a las ciudades para poder satisfacer la necesidad de mano de obra, creciendo de manera muy rápida las urbes en tamaño.

En el Perú, actualmente el 74.3% de la población es urbana y para el 2025 se estima llegar al 81.48% (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2001).

1.2.1 Impactos de la urbanización en el ciclo hidrológico

Antes al ser una zona permeable existía filtración, por tanto, había un nivel freático alto o bajo, pero existía; una vez que se impermeabiliza se genera un descenso en la evapotranspiración al reemplazar gran parte de la vegetación natural por edificaciones y así incrementando el volumen y la velocidad de escurrimiento superficial en el área afectada, tal como se muestra en la figura 4, dicho incremento provoca una mayor intensidad del escurrimiento en el área urbana, en corrientes receptoras y en zonas aguas abajo de la cuenca en estudio (Abellán, 2016).

En conclusión, genera los siguientes cambios en el ciclo hidrológico (Abellán, 2016):

- El incremento de los caudales punta
- Volúmenes de escorrentía más elevados
- El aumento de inundaciones
- Disminución de los caudales base
- Se incrementa la erosión de suelos sin pavimentar

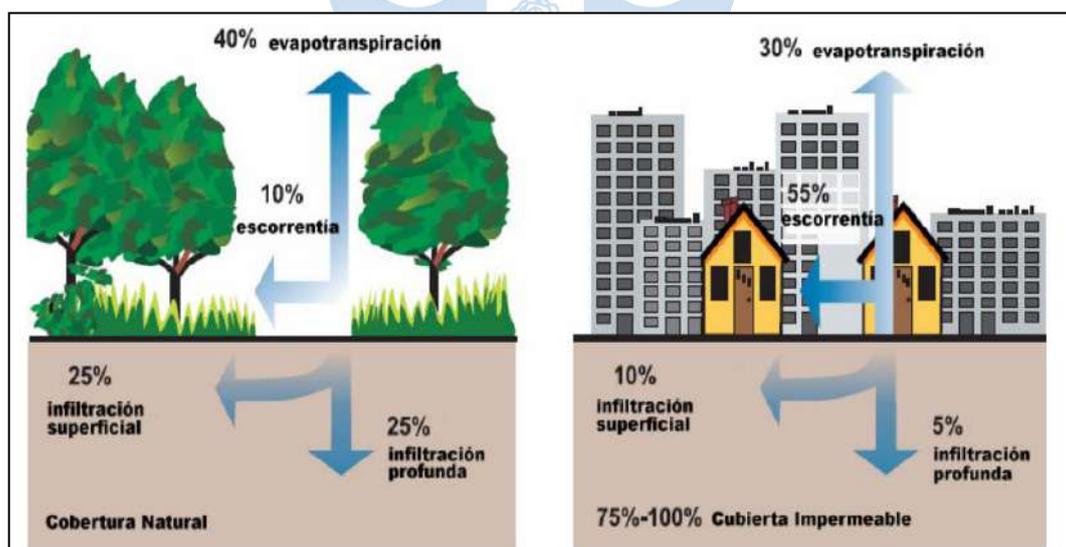


Figura 4. Variaciones porcentuales generadas por un proceso de urbanización
Fuente: Gonzáles, 2009.

1.2.2 Impactos de la urbanización sobre los hábitats

La masa de agua va directamente al río y hay una transferencia de calor que para nosotros es mínima de un grado o medio grado, pero para las especies vegetales y animales es suficiente para acabar una o traer nuevas especies, hay una migración y mutación.

Impactos en la biota, si es que hay peces en los ríos u otros animales acuáticos, van a migrar, no solo por el tema de temperatura sino también por el tema de sombras, al no existir vegetación no hay zona de sombras, zona de reproducción. La reducción del ambiente de varias especies de peces y otra vida acuática también se origina por la erosión de los cauces que desplazan a las comunidades biológicas ribereñas, mientras que los depósitos de sedimentos aguas abajo pueden asfixiar a los organismos bentónicos (Abellán, 2016).

Hay también insectos que van e insectos que vienen, y los insectos son portadores de enfermedades.

Los principales impactos al hábitat acuático y las zonas ribereñas son (Abellán, 2016):

- Desvalorización del paisaje
- Reducción de la diversidad de la fauna acuática
- Pérdida de riberas y la vegetación ribereña
- Problemas de eutrofización
- Introducción de especies alóctonas desplazando a las autóctonas

1.2.3 Impactos de la urbanización sobre la calidad del agua

Debido a una falta de cultura, es que la gran mayoría de personas producen grandes cantidades de volumen de residuos dentro de las ciudades y en la gran mayoría de los casos son colocados sobre la superficie de las cuencas urbanas para luego ser trasladados hacia los cauces receptores durante una precipitación – escorrentía. Esto genera un aumento de la carga de contaminantes sobre las masas de agua receptoras, lo cual trae como consecuencia la existencia de daños para la salud humana y de otros seres vivos ya que la gran parte de los contaminantes más comunes (sedimentos, nutrientes, materia orgánica, metales pesados, patógenos, pesticidas, herbicidas e hidrocarburos) tienen una alta toxicidad. Esto es

importante para comprender como la contaminación daña a los ecosistemas para evaluar qué tipos de gestión de escorrentías ayudan a mejorar la calidad del agua del cuerpo receptor (Abellán, 2016).

1.2.4 Impactos de la urbanización sobre la geomorfología de los cauces

Los cambios que se originan con la generación de las escorrentías provenientes de las zonas urbanizadas en la geomorfología son principalmente dos (Abellán, 2016):

- Erosión en el área de vertido por el rápido aumento de los caudales punta, incrementando el espaciamiento entre los márgenes, socavando el lecho y transformando la sección transversal.
- Sedimentación de las partículas erosionadas aguas abajo, lo que origina también una alteración en la sección transversal del flujo, con los cambios correspondientes en el tipo de flujo del agua.

Con un sistema de drenaje pluvial se busca canalizar el agua de lluvia a través de los ductos, este hecho reduce su tiempo de concentración, es decir, el drenaje facilita el camino al agua y reduce su tiempo de evacuación.

Por lo tanto, un buen sistema de drenaje puede solucionar las consecuencias del aumento de superficies impermeables.

1.3. Sistemas de evacuación

Todas las aguas recogidas por los sistemas de drenaje pluvial urbano deben ser dirigidas hacia cursos naturales (mar, ríos, lagos, etc.) o artificiales. Este desalojo se realizará en condiciones tales que se considere los aspectos técnicos, económicos y de seguridad del sistema (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

1.3.1 Sistema de evacuación por gravedad

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) estableció una serie de condicionantes que se debe tener en cuenta. Se señalan a continuación:

- a) Si se llega a desembocar al mar, la altura de agua en la entrega (tubería o canal) debe estar 1.50 m por encima de la altura media del mar.
- b) Si se llega a desembocar a un río, la altura de agua en la descarga (tubería o canal) deberá estar por lo menos a 1,00 m por encima de la altura máxima del agua esperado para un periodo de retorno de 50 años.
- c) Si se llega a desembocar a un lago, la altura de evacuación del pelo de agua del evacuador o dren principal estará a 1.00 m, sobre la altura máxima del agua que se estima alcanzar el lago para un periodo de 50 años.
- d) En conclusión, el sistema de evacuación debe descargar sin problemas ($>$ de 1.00 m por encima de las máximas alturas esperadas), para evitar la congestión y deterioro del sistema de drenaje pluvial.

1.3.2 Sistema de evacuación por bombeo

Este sistema se emplea cuando no se puede evacuar por gravedad, entonces se debe emplear la alternativa de evacuación mediante el uso de un equipo de bombas móviles o fijas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Las bombas de flujo axial y de gran diámetro son las más indicadas para la evacuación de las aguas pluviales ya que se requiere para grandes caudales y relativamente cargas bajas.

En caso de colocarse sistemas de bombeo accionados por sistemas eléctricos, deberá preverse otras fuentes de energía para el funcionamiento alternativo del sistema en casos de fallas en el sistema eléctrico principal.

1.3.3 Sistema de evacuación mixto

Cuando surjan impedimentos para aplicar los criterios indicados anteriormente, es posible prever condiciones de evacuación mixta, es decir, se podrá transportar por gravedad cuando la condición del nivel receptor lo permita y, a través de una compuerta tipo Charnela, se impedirá cuando el nivel del receptor obstaculice la salida iniciando la evacuación mediante equipos de bombeo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

1.4 Captación en zona vehicular

Las calles, veredas y otros elementos destinados al tránsito de personas y/o vehículos captan parte importante de las precipitaciones de lluvia y en la gran mayoría de los casos se asumen como los elementos iniciales del sistema de drenaje. Como su principal función no es transportar agua de lluvias, se debe tener especial precaución para evitar problemas que dificulten el tránsito, considerando de manera especial las capacidades de conducción de agua y la forma de evacuarla hacia los sistemas de drenaje propiamente dichos.

Las calles captan y dirigen hacia la red de drenaje las aguas de lluvias que precipitan sobre ellas. Además, las zonas de aguas arriba de una urbanización, puede recibir aguas de lluvias que precipitan sobre los terrenos circundantes, para luego dirigirlas a la red de drenaje. Pese a lo anterior, esta práctica no es recomendable, ya que termina transformando las calles en colectores superficiales de aguas lluvias. Para evitarlo, solo se permite una cantidad reducida de agua en las calles.

Para hacer más fácil el traslado de aguas en las calles sin que se genere problemas, en los bordes de la calzada se creará una cuneta con la solera y el pavimento. La capacidad hidráulica de esta cuneta está en función de la pendiente transversal del pavimento y de la pendiente longitudinal de la calle:

- Pendientes longitudinales $> 0.5 \%$
- Pendientes transversales de 2% a 4%

1.5 Capacidad hidráulica de calles

La capacidad hidráulica es la capacidad teórica de agua que puede conducir en una calle, para este cálculo asumiremos que la calle tiene forma triangular para facilitar el cálculo. Se empleará información de la norma OS 060 de drenaje pluvial urbano sobre la ecuación de Manning en el cálculo de caudales en cunetas triangulares (ver figura 5).

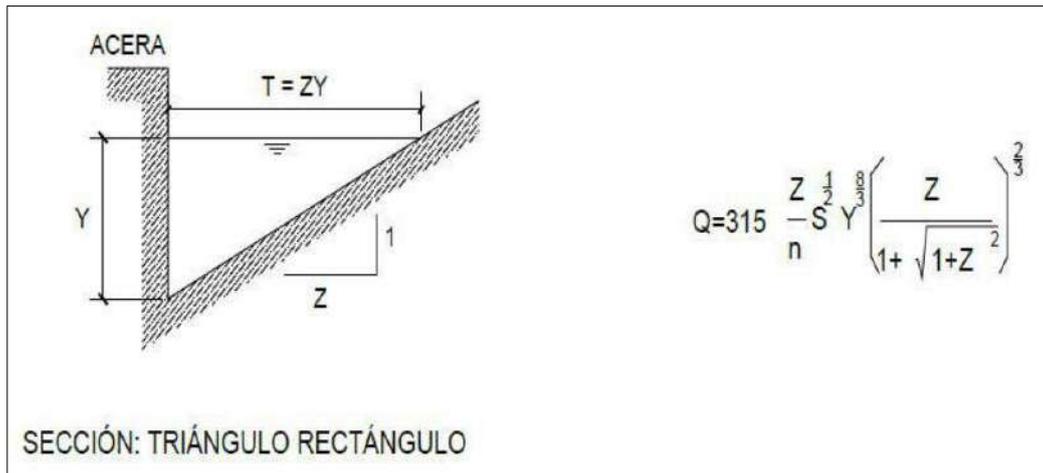


Figura 5. Fórmula de Manning para la determinación del caudal
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

En la figura 6 se muestran las variables que influyen en la determinación del caudal máximo que puede conducir una calle.

Q = caudal que se escurre

Y = inundación permitida

S = pendiente longitudinal

S_x = pendiente transversal

$Z = 1/S_x$

n = coeficiente de rugosidad de Manning

$y = S_x \times \text{Ancho de carril}$

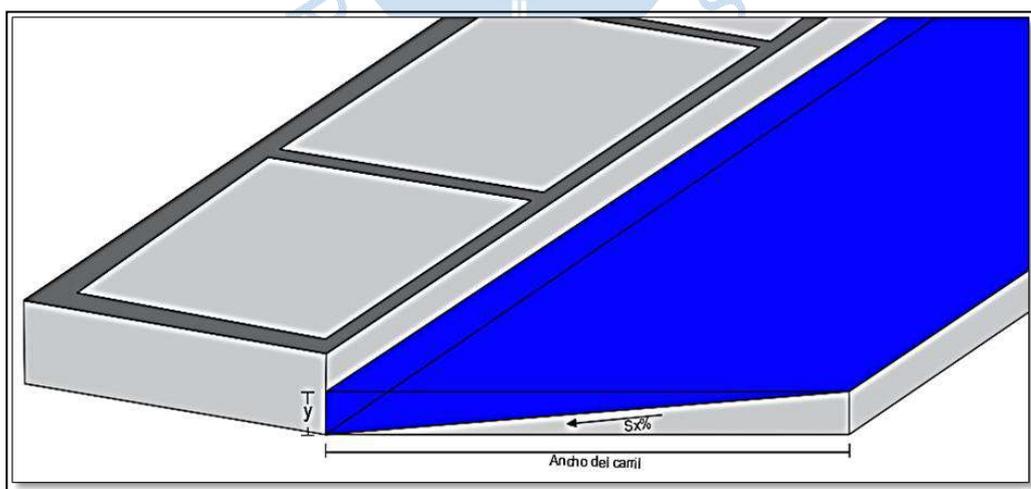


Figura 6. Ejemplo de sección transversal de una calle
Fuente: Elaboración propia.

1.6 Consideraciones en el diseño hidráulico

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) señala que el drenaje de aguas pluviales está “conformado por un conjunto de colectores subterráneos y canales necesarios para evacuar la escorrentía superficial producida por las lluvias a un curso de agua” (p.23).

1.6.1 Diámetro de los tubos

Los diámetros máximos de las tuberías están en función del material con que se fabrican. La norma OS 060 establece diámetros mínimos de tuberías en colectores, tal y como se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Diámetros mínimos de tuberías en colectores de agua de lluvia

Tipo de colector	Diámetro mínimo (m)
Colector Troncal	0.50
Lateral Troncal	0.40*
Conductor Lateral	0.40*

Nota: * En instalaciones ubicadas parcial o totalmente bajo las calzadas aumentarán en diámetros a 0.50 m por lo menos

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) presenta los tipos de tubería que normalmente se trabaja en alcantarillado, de los cuales “se tendrá en cuenta las consideraciones especificadas en las Normas Técnicas Peruanas NTP vigentes. Los materiales de las tuberías comúnmente utilizadas en alcantarillados pluviales son”(p.27):

- Concreto armado centrifugado
- Hierro fundido dúctil.
- Concreto pretensado centrifugado
- Poly cloruro de vinilo (PVC)
- Concreto armado vibrado con recubrimiento interior de PVC.
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).
- Arcilla vitrificada

1.6.2 Resistencia

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) indica las exigencias que “las tuberías empleadas en colectores de aguas pluviales deberán cumplir con las especificaciones de resistencia específicas en las Normas Técnicas Peruanas NTP vigentes o a las normas ASTM, AWWA o DIN, según el país de procedencia de las tuberías empleadas” (p.24).

1.6.3 Velocidades

1.6.3.1 Velocidad mínima. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) establece que “se requiere la velocidad mínima de 0,90 m/s fluyendo las aguas a tubo lleno para evitar la sedimentación de las partículas que como las arenas y gravas acarrea el agua de lluvia” (p.31). En la tabla 3 se muestran las velocidades máximas de acuerdo al material de la tubería.

Tabla 3. Velocidad máxima permisible para tuberías de drenaje, con contenido de agua y fragmentos de arena y grava.

Material de la tubería	Velocidad máxima(m/s)
Asbesto cemento	3,0
Hierro fundido dúctil	3,0
Cloruro de polivinilo	6,0
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	3,0
Arcilla vitrificada	3,5
Concreto armado de:	
140 kg /cm ²	2,0
210 kg /cm ²	3,3
250 kg /cm ²	4,0
280 kg /cm ²	4,3
315 kg /cm ²	5,0
Concreto armado de curado al vapor >280 kg /cm ²	6,6

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

1.6.3.2 Velocidad máxima. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) en la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano indica que “la velocidad máxima en los colectores con cantidades no significativas de sedimentos en suspensión es función del material del que están hechas las tuberías y no deberá exceder los valores indicados en la tabla siguiente, a fin de evitar la erosión de las paredes” (p.31).

Para realizar el diseño hidráulico de los colectores de aguas lluvia se podrán emplear criterios de diseño de conductos cerrados. En el cálculo del caudal se usará la fórmula de Manning con los coeficientes de rugosidad según el tipo de material por el cual están conformadas las tuberías, presentados a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente de rugosidad de tuberías según el tipo de material

Tubería	Coeficiente de rugosidad “n” de Manning
Asbesto cemento	0.01
Hierro fundido dúctil	0.01
Cloruro de polivinilo	0.01
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.01
Concreto armado – liso	0.013
Concreto armado con revestimiento de PVC	0.01
Arcilla vitrificada	0.01

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

1.6.4 Pendiente mínima

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) señala que “las pendientes mínimas de diseño de acuerdo con los diámetros serán aquellas que satisfagan la velocidad mínima de 0,90 m/s fluyendo a tubo lleno. Por este propósito, la pendiente de la tubería algunas veces incrementa en exceso la pendiente de la superficie del terreno” (p.31).

1.6.5 Altura de relleno

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) indica que “la profundidad mínima a la clave de la tubería desde la rasante de la calzada debe ser de 1 m

Serán aplicables las recomendaciones establecidas en la Normas Técnicas Peruanas NTP o las establecidas en las normas ASTM o DIN” (p.27).

1.7 Estructuras de captación pluvial

1.7.1 Cunetas

Son canales abiertos, los cuales evacuan las aguas que circulan sobre la calzada y aceras para luego ser conducidas hacia las zonas bajas donde son captadas por los sumideros y finalmente ser conducidas en dirección a las alcantarillas pluviales de la ciudad (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,2006).

Las cunetas podrán tener las siguientes secciones transversales (ver figura 7):



Nota: Todas las medidas o longitudes presentadas son de carácter referencial

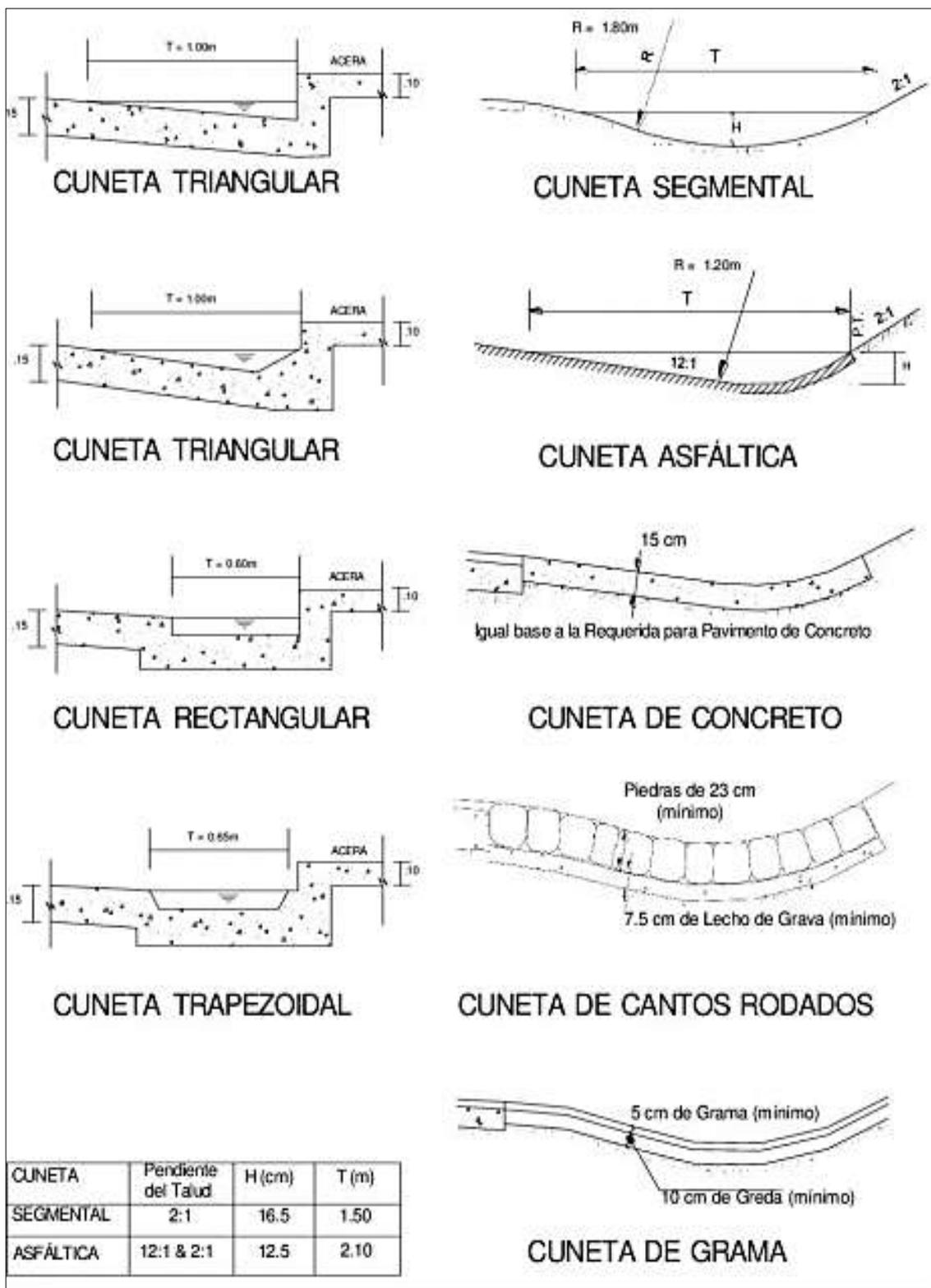


Figura 7. Secciones transversales de cunetas
 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

La capacidad de las cunetas depende de su sección transversal, pendiente y rugosidad del material que la conforma. Generalmente se determina la capacidad y las ecuaciones que rigen el caudal a partir de la fórmula de Manning en canales abiertos:

$$Q = A.V = \frac{A \times R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (1.1)$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Velocidad media (m/s)

A = Área de la sección (m²)

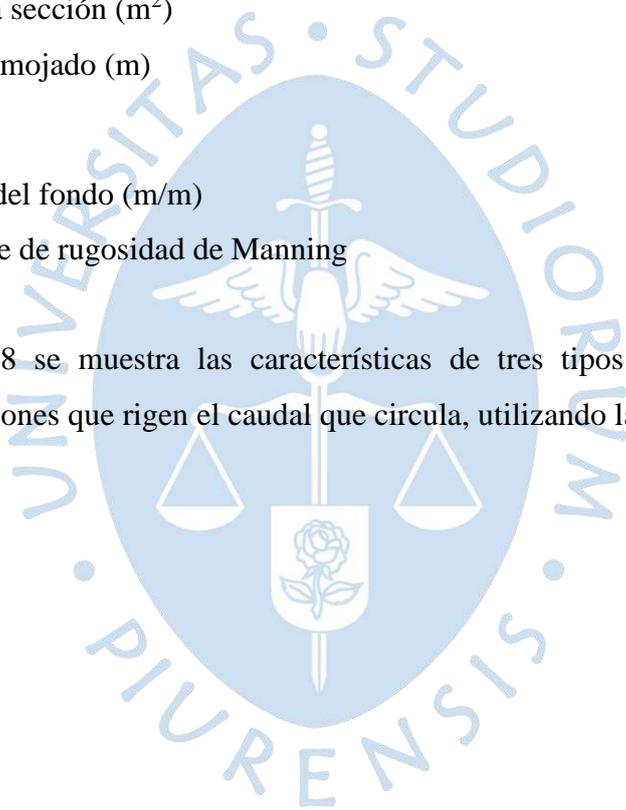
P = Perímetro mojado (m)

$$R_h = A/P$$

S= Pendiente del fondo (m/m)

n = Coeficiente de rugosidad de Manning

En la figura 8 se muestra las características de tres tipos de cuneta de sección triangular y las ecuaciones que rigen el caudal que circula, utilizando la ecuación de Manning.



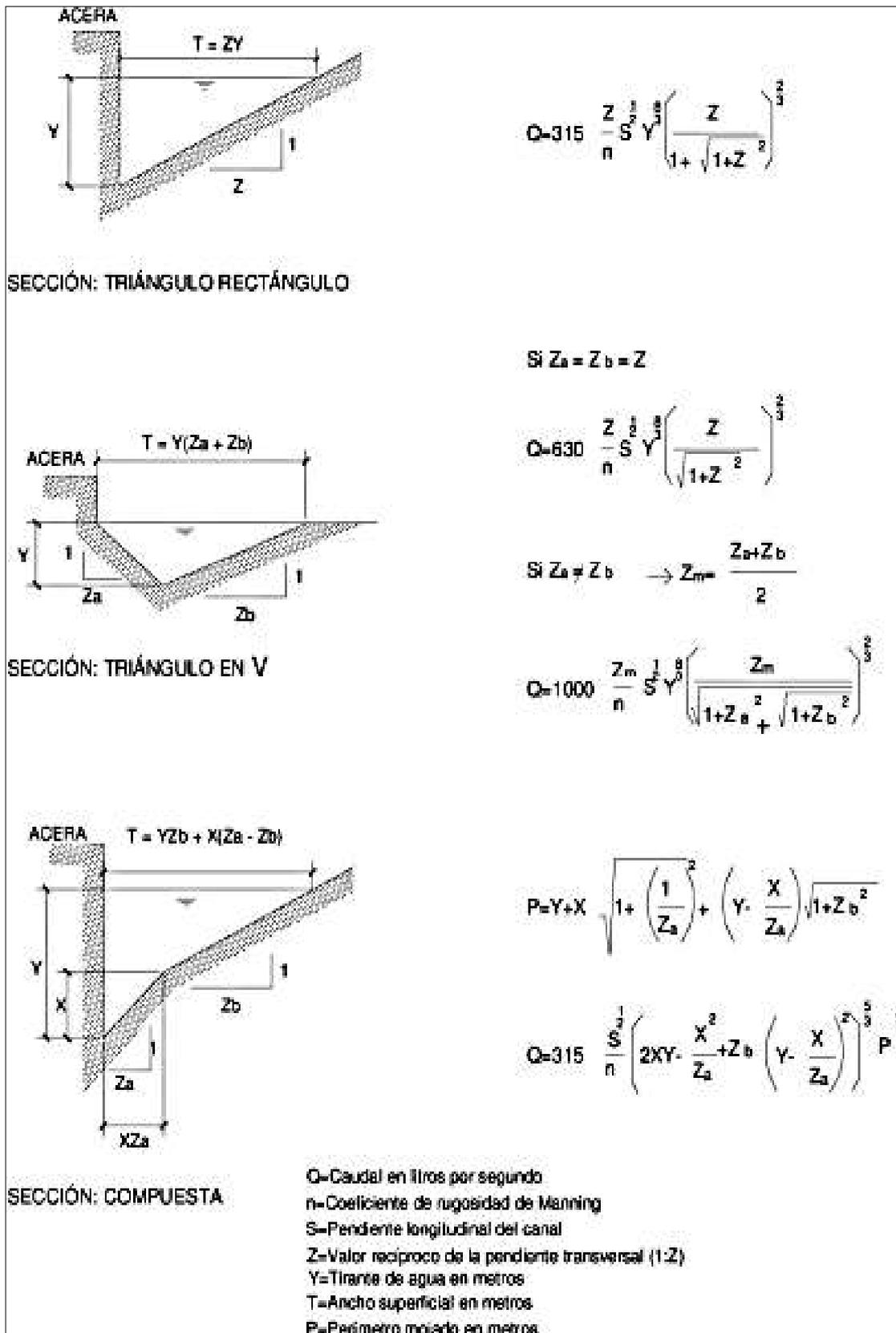


Figura 8. Formula de Manning en la determinación de caudales en cunetas triangulares
 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

La norma OS.060 de drenaje pluvial urbano nos brinda condiciones sobre los anchos máximos T (espejo de agua) de la superficie del agua sobre la pista, los cuales son (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- En vías principales de alto tránsito: Igual al ancho de la berma.
- En vías secundarias de bajo tránsito: Igual a la mitad de la calzada.

En la tabla 5 se presenta los valores de coeficiente de rugosidad de Manning correspondientes a los diversos acabados de los materiales de las cunetas de las calles y berma central.

Tabla 5. Coeficientes de escorrentía de Manning

Cunetas de las calles	Coefficiente de rugosidad(N)
a. Cuneta de concreto con acabado paleteado	0.012
b. Pavimento asfáltico 1) Textura lisa 2) Textura rugosa	0.013 0.016
c. Cuneta de concreto con pavimento asfáltico 1) Liso 2) Rugoso	0.013 0.015
d. Pavimento de concreto 1) Acabado con llano de madera 2) Acabado escobillado	0.014 0.016
e. Ladrillo	0.016
f. Para cunetas con pendiente pequeña , donde el sedimento puede acumularse, se incrementarán los valores arriba indicados de n, en:	0.002

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Dependiendo del material o tipo de superficie se establecen velocidades límite admisible tal y como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Velocidades límites admisibles

Tipo de superficie	Velocidad límite admisible(m/s)
Arena fina o limo (poca o ninguna arcilla)	0.20 – 0.60
Arena arcillosa dura, margas duras	0.60 – 0.90
Terreno parcialmente cubierto de vegetación	0.60 – 1.20
Arcilla grava, pizarras blandas con cubierta vegetal	1.20 – 1.50
Hierba	1.20 – 1.80
Conglomerado, pizarras duras, rocas blandas	1.40 – 2.40
Mampostería, rocas duras	3.00 – 4.50 ¹
Concreto	4.50 – 6.00 ²

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2011.

1.7.2 Sumideros

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) menciona los condicionantes y tipos de sumideros en “la elección del tipo de sumidero dependerá de las condiciones hidráulicas, económicas y de ubicación y puede ser dividido en tres tipos, cada uno con muchas variaciones” (p.11).

1.7.2.1 Tipos de sumideros. Según la norma OS060 de drenaje pluvial urbano, existen los siguientes tipos de sumideros:

- Sumideros laterales de sardinel o solera: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) definió este tipo de sumideros como “una abertura vertical ubicada en el sardinel a través del cual ingresa el flujo que transporta las cunetas. Su utilización se limita a aquellos tramos donde se tenga pendientes longitudinales menores de 3%” (p.11). En la figura 9 se puede visualizar el ingreso del agua a un sumidero de solera.

¹ Para flujos de muy corta duración.

² Para flujos de muy corta duración.

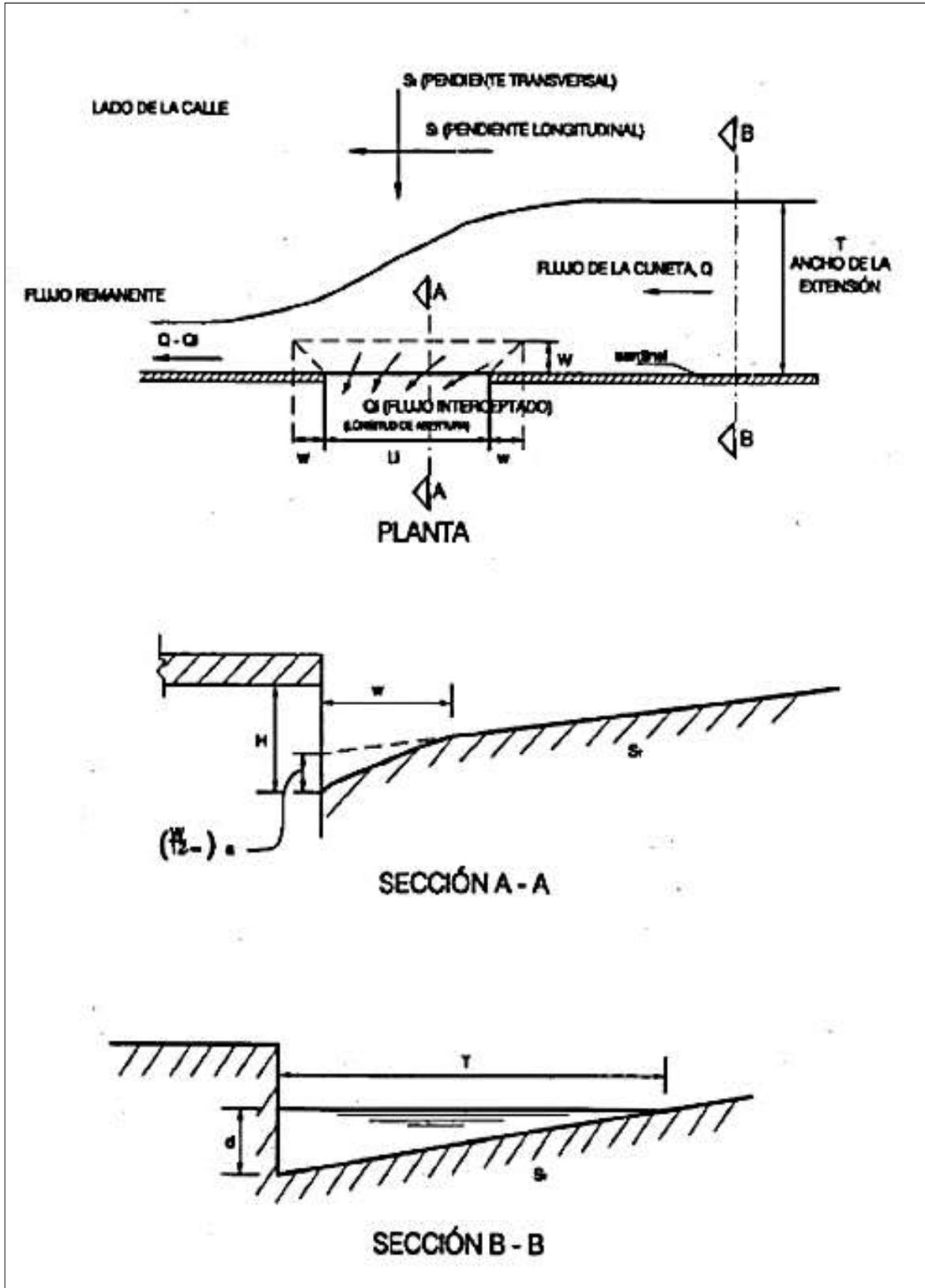


Figura 9. Plano de ingreso en el sumidero de solera
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

- Sumideros de fondo: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) define en la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano los condicionantes en el uso de este tipo de sumideros:

Este tipo consiste en una grieta ubicada en la cuneta cubierta por uno o más sumideros. Se emplearán cuando las pendientes longitudinales de las cunetas sean mayores del 3%. Las rejillas para este tipo de sumideros serán de barras paralelas a la cuneta. Se podrán adicionar barras cruzadas por razones estructurales, pero deberán mantenerse en una posición cercana al fondo de las barras longitudinales. Los sumideros de fondo pueden tener una depresión (ver figura 10) para aumentar su capacidad de captación (pp.11-12).

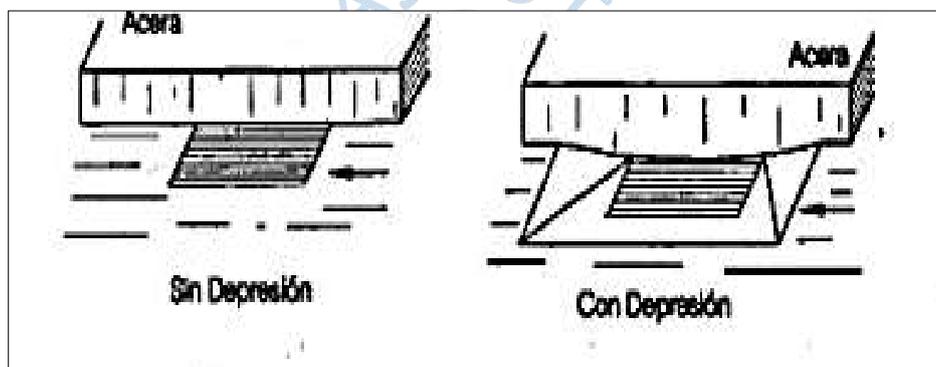


Figura 10. Sumideros de fondo
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

- Sumideros mixtos o combinados: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) se definen como la combinación de dos tipos de sumideros. “Estas unidades consisten en un sumidero lateral de sardinel y un sumidero de fondo actuando como una unidad, tal y como se muestra en la figura 11. El diámetro mínimo de los tubos de descarga al buzón de reunión será de 10 pulgadas” (p.12).

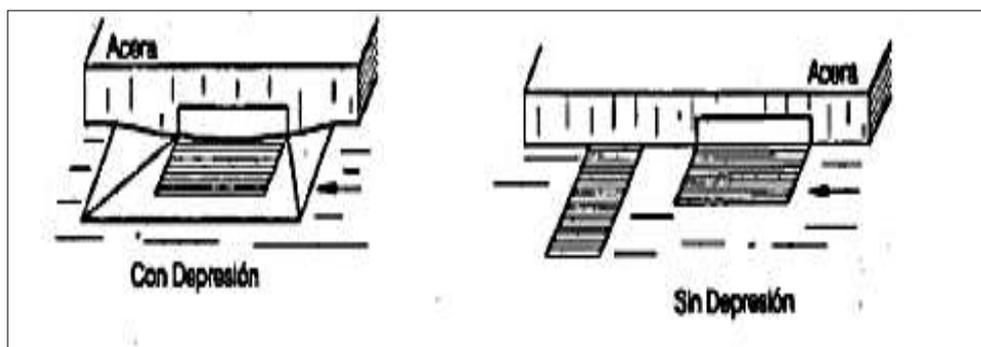


Figura 11. Sumideros mixtos o combinados
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

- Sumideros de rejillas en calzadas: Este tipo de sumideros tiene una dirección transversal a la calzada y a todo lo ancho de esta, cubierta con rejillas para evitar obstrucciones de materiales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Según indica la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano, los sumideros también se pueden agrupar en los siguientes tipos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- Tipo S1: Sumidero grande conectado a la cámara (figura 12). Pertenece a sumideros del tipo mixto.
- Tipo S2: Sumidero grande conectado a la tubería (figura 13). Pertenece a sumideros del tipo mixto.
- Tipo S3: Sumidero chico conectado a la cámara (figura 14).
- Tipo S4: Sumidero chico conectado a la tubería (figura 15).

Los sumideros tipo S3 y S4 se utilizarán exclusivamente en los casos siguientes:

- Cuando el sumidero se ubica al centro de las avenidas de doble calzada.
- Cuando se conectan en serie con tipo grande S1 o S2.
- Para evacuar las aguas pluviales provenientes de las calles ciegas y según especificación del proyectista.

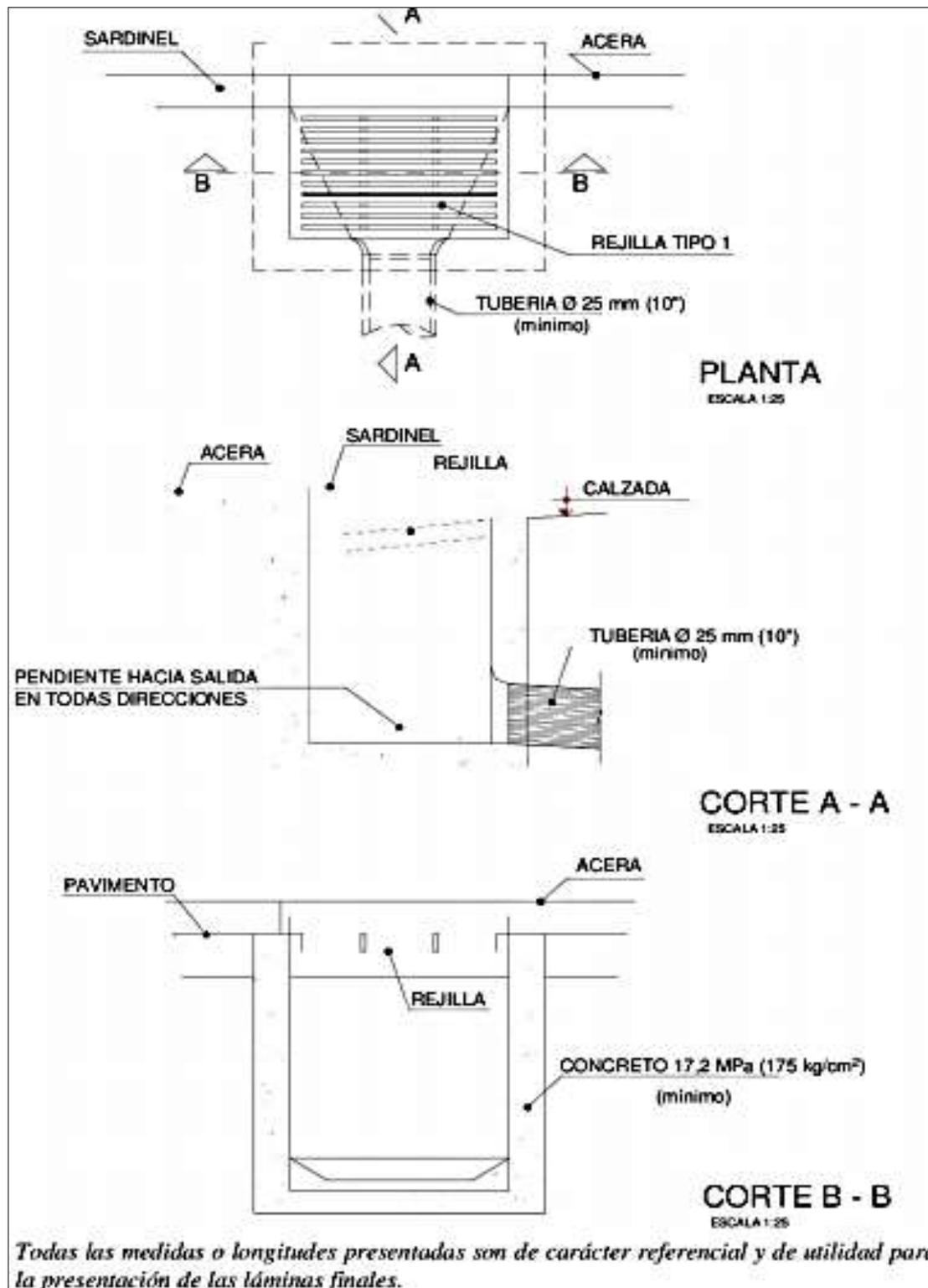


Figura 12. Sumidero de tipo grande conectado a cámara- S1
 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

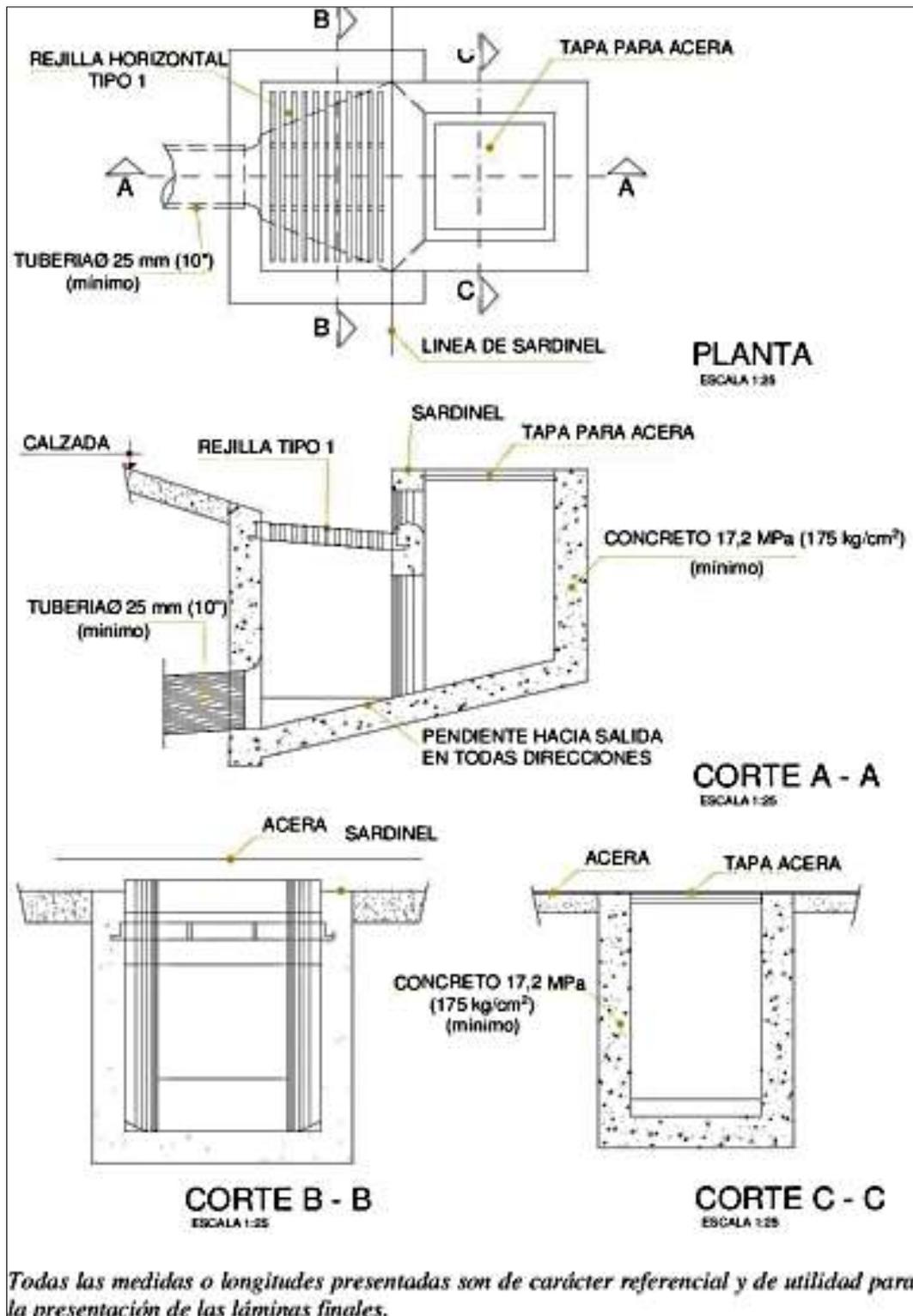


Figura 13. Sumidero de tipo grande conectado a tubería-S2
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

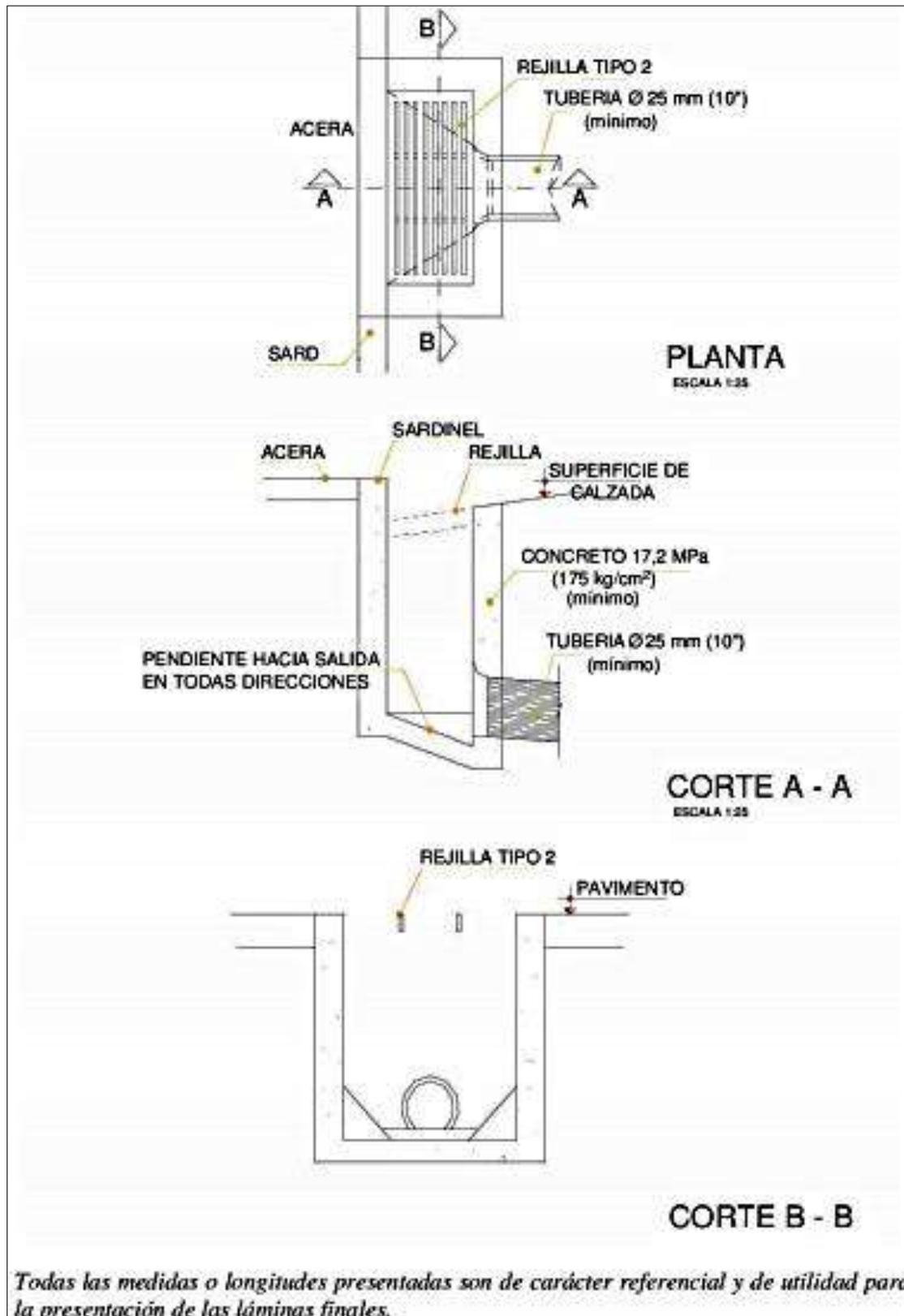


Figura 14. Sumidero de tipo chico conectado a la cámara-S3
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

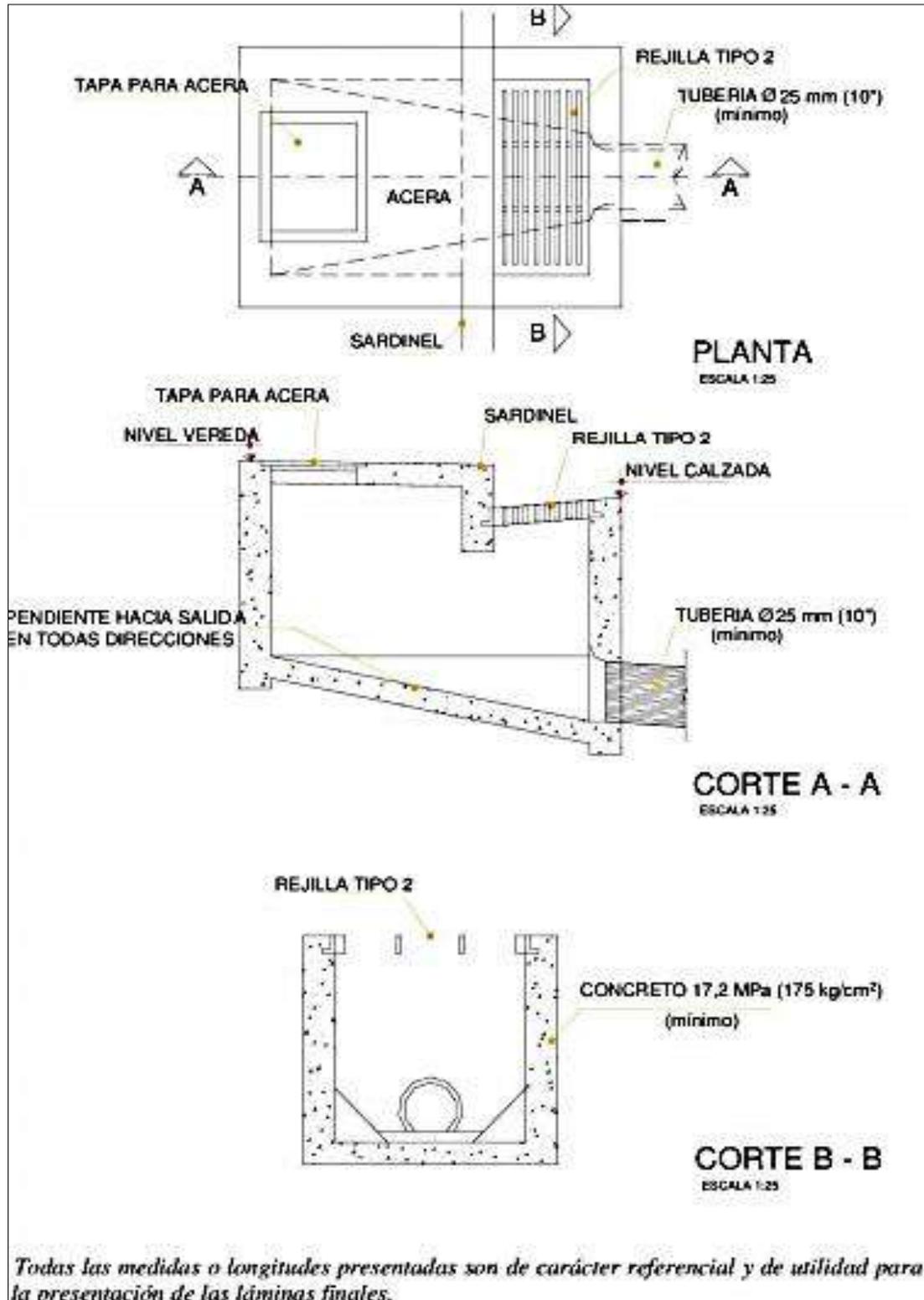


Figura 15. Sumidero de tipo chico conectado a la tubería – S4
 Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

1.7.2.2 Ubicación de los sumideros. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) establece los siguientes criterios: La posición de los sumideros va depender del caudal, pendiente, la ubicación y geometría de enlaces e intersecciones, ancho de flujo permisible del sumidero, volumen de residuos sólidos, acceso vehicular y de peatones. En general los sumideros deben ubicarse en los lugares más bajos. Por lo general se colocan en las esquinas de cruce de calles, pero al fin de entorpecer el tráfico de las mismas, deben empezar retrazadas con respecto a las alineaciones de las fachadas. Se colocarán sumideros intermedios cuando las manzanas son de gran tamaño y cuando el flujo de la cuneta es pequeño y el tránsito de vehículos y de peatones es de poca consideración, la corriente puede conducirse a través de la intersección mediante una cuneta, hasta un sumidero ubicado aguas abajo del cruce (pp.12-13).

Se sugiere colocar a los sumideros cerca de los conductos de desagüe del sistema de drenaje pluvial debido a razones económicas, y así evitar la excesiva longitud de tubería a emplear. De acuerdo la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano, como ya se mencionó anteriormente, señala puntos específicos en donde se deben ubicar sumideros (ver figura 16) sobre el cruce de avenidas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

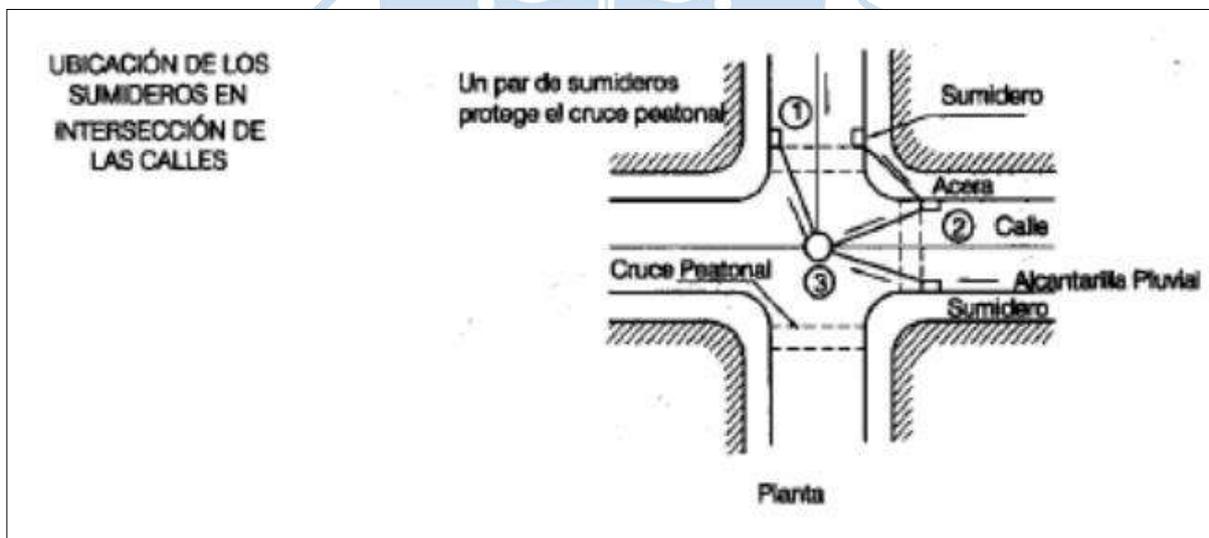


Figura 16. Ubicación de los sumideros en intersección de las calles
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

1.7.2.3 Espaciamiento de los sumideros. El espaciamiento de los sumideros obedece directamente de la posición de los mismos. Para el caso de la determinación del espaciamiento de sumideros ubicados en cuneta medianera, el proyectista deberá tener en cuenta las características del suelo como la permeabilidad y su erosión. Cuando se determine la necesidad de una instalación múltiple o serie de sumideros, el espaciamiento mínimo será de 6 m (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

1.7.2.4 Diseño hidráulico de los sumideros. Según indica la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano se deberá tener en cuenta las siguientes variables (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006) :

- Perfil de la pendiente.
- Pendiente transversal de cunetas con solera.
- Depresiones locales.
- Retención de residuos sólidos.
- Altura de diseño de la superficie de aguas dentro del sumidero.
- Pendiente de los sumideros.
- Coeficiente de rugosidad de la superficie de las cunetas.

1.7.3 Rejillas

Según la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano, las rejillas pueden ser clasificadas bajo dos consideraciones variables (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006) :

1. Por el material del que están construidas; pueden ser de fierro fundido o de fierro laminado (Platines de fierro), como se muestran en las figuras 17 y 18.
2. Por su ubicación en relación con el sentido de desplazamiento principal de flujo; podrán ser:
 - De rejilla horizontal.
 - De rejilla vertical.
 - De rejilla horizontal y vertical.

Las rejillas se adecuan a la geometría y pueden ser enmarcadas en figuras rectangulares, cuadradas y circulares. Por lo general se usan rejillas de dimensiones

rectangulares y por proceso de fabricación industrial se fabrican en dimensiones de 60mm x 100 mm y 45 mm x 100mm (24"x 40" y 18" x 40").

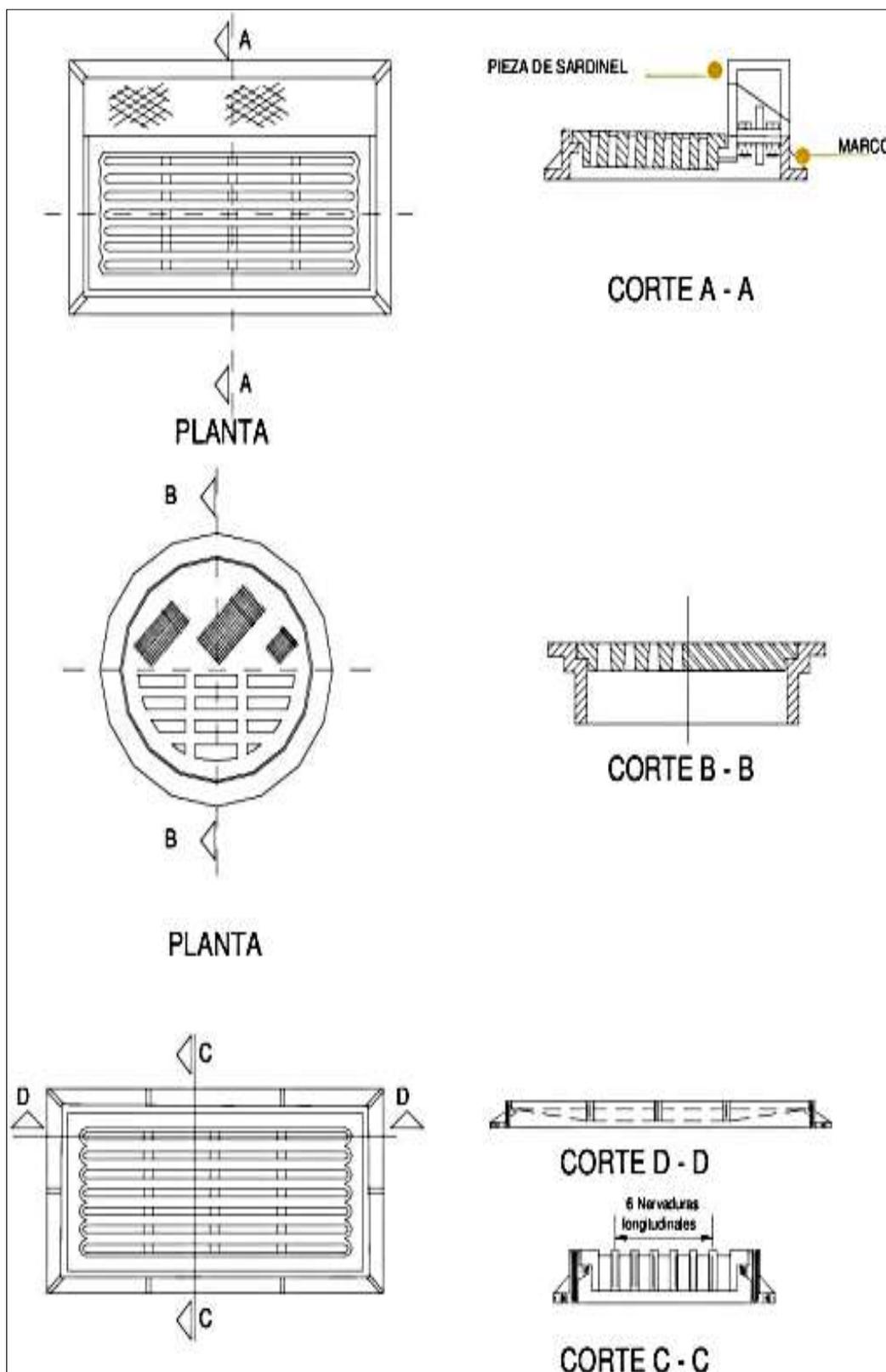


Figura 17. Rejillas de hierro fundido para sumideros

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

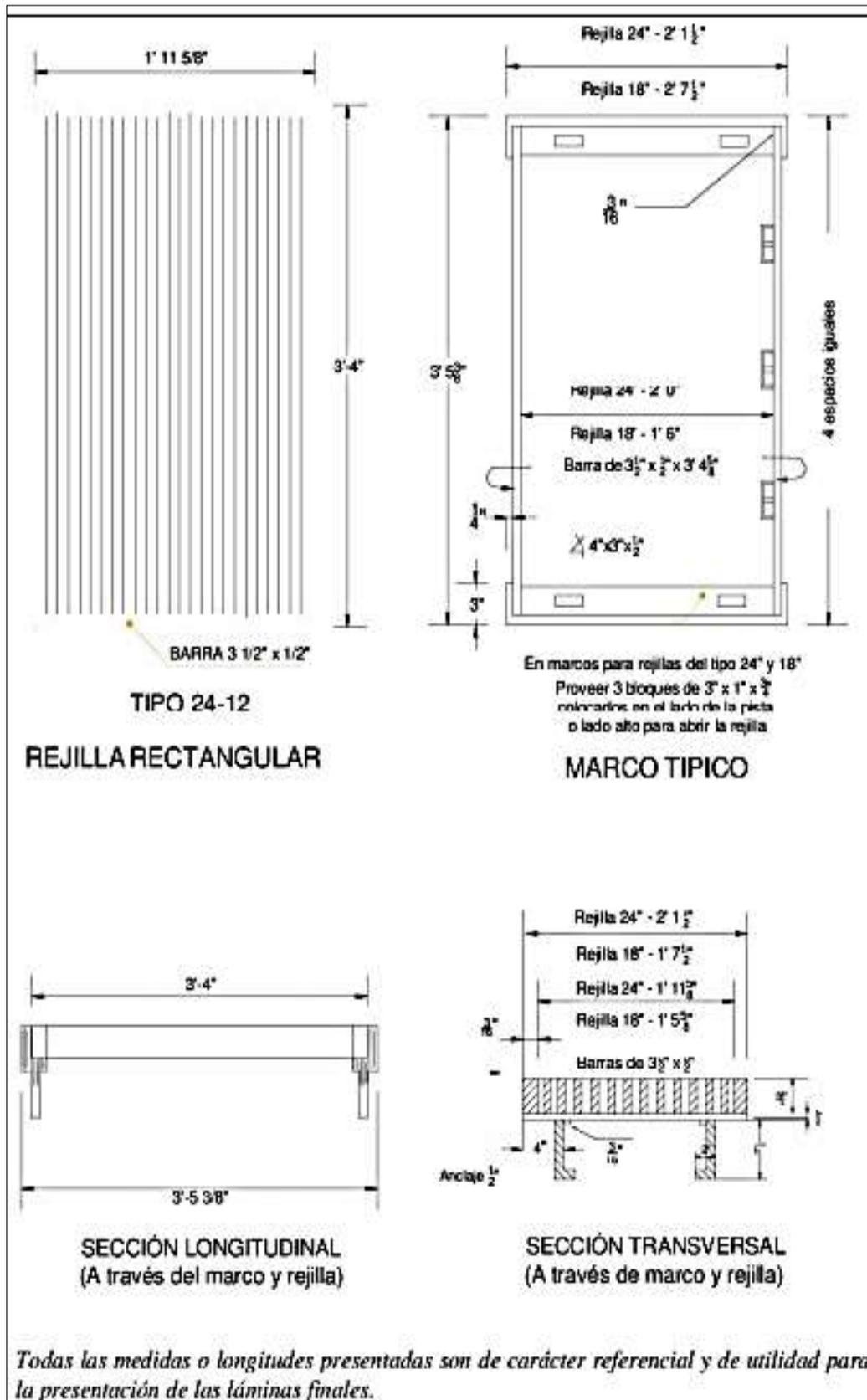


Figura 18. Rejillas de hierro laminado
Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Eficiencia hidráulica de rejillas transversales: Este factor es poco empleado, pero realmente es importante en la utilización de rejillas transversales continuas, debido a que se podrá estimar el comportamiento del caudal de paso y el interceptado de manera adecuada.

En la tabla 7 se muestran los rangos de eficiencia hidráulica según el tipo de rejilla.

La eficiencia hidráulica está determinada mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{Q_i}{Q} \quad (1.2)$$

Dónde:

E: Eficiencia hidráulica de la estructura de captación

Q_i: Caudal interceptado por la estructura de captación

Q: Caudal de paso por la cuneta

Tabla 7. Rango de eficiencia hidráulica de rejillas

Tipología de rejilla	Ancho (cm)	Longitud efectiva (cm)	Nº de barras longitudinales	Nº de barras transversales	Nº de barras diagonales	Rango de eficiencia (%)
1	100	25	35	1	0	53 – 100
2	100	15	36	0	0	40 – 100
3	100	10.4	36	0	0	19 – 97
4	100	12	1	3	59	15 – 97

Fuente: Gómez & Russo, s.f.

1.8 Estación de bombeo

Koutoudjian (s.f) explica la principal función de una estación de bombeo: “Una Estación de Bombeo (también llamada estación elevadora (EE)), es una instalación hidroelectromecánica destinada a forzar el escurrimiento de una vena líquida para que ésta llegue a destino en las condiciones previstas en su diseño” (p.3).

1.8.1 Tipos de estación

Estas estructuras poseen diferentes características dependiendo del uso que se le brinde, en la ingeniería hidráulica y sanitaria se encuentran tres variedades de estaciones de bombeo, según sea el tipo de agua a bombear (Koutoudjian, s.f.):

- Las destinadas a la evacuación de desagües pluviales.
- Las orientadas a la impulsión de agua para acueductos.
- Las estaciones de bombeo de líquidos cloacales.

Para elegir el modelo de estación de bombeo es necesario tener en cuenta la capacidad que se quiere lograr, función, tipo de bomba, vida útil y estética.

Las estaciones de bombeo cuentan con un pozo de bombeo, donde cae el agua y desde donde las bombas se alimentan para impulsarla fuera de la instalación. El caudal de la/s bomba/s puede o no coincidir con el caudal afluente al pozo, en cuyo caso éste actúa como recinto pulmón (Koutoudjian, s.f.).

Es posible clasificar estas estaciones de bombeo según dos criterios (Koutoudjian, s.f.):

El primero de ellos concierne a las instalaciones en las que las estaciones de bombeo están asociadas a una cisterna. De acuerdo a como está dispuesto el equipo de bombeo dentro del pozo de bombeo, se clasifican en:

1.8.1.1 Estación de bombeo inundado. Cuando las bombas están sumergidas en el líquido a bombear.

1.8.1.2 Estación de bombeo de cámara seca. Cuando las bombas están ubicadas en una sala contigua al pozo de bombeo.

El segundo criterio está asociado con el lugar donde se ubica la estación de bombeo. Es común utilizar dos posiciones bien diferenciadas: bombeo desde la cisterna; o bombeo desde la misma tubería.

Éstas últimas son empleadas cuando en una línea se requiere incrementar la presión de toda el agua que recibe, sin acumularla o cederla y se diferencia de las anteriores por no contar con pozo de bombeo, se denominan estación de rebombeo.

1.8.2 Criterios de diseño de una estación de bombeo

Existen muchos criterios a tener en cuenta para diseñar correctamente una estación de bombeo, a continuación, mostramos algunos de ellos (Koutoudjian, s.f.):

1.8.2.1 Confiabilidad. Es importante que una estación de bombeo cumpla adecuadamente su función para la cual fue construida, su deficiencia manifestada como salida de servicio puede generar daños muy grandes tanto a la instalación misma, como a los propios pobladores a quienes se buscaba beneficiar.

La carencia de confiabilidad en el funcionamiento de una estación de bombeo desarma todos los beneficios que esta estructura pretendía traer a la población. Por lo tanto, uno de los criterios a tener en cuenta en el diseño de una estación de bombeo es sin duda la confiabilidad.

1.8.2.2 Economía. Para considerar este criterio es primordial determinar la función que va a cumplir la estación de bombeo.

Si se trata de una estación de bombeo para aguas cloacales o agua potable, sin duda se debe analizar el rendimiento de los equipos de bombeo, lo que no sucede cuando se trata de una estación de bombeo para aguas pluviales, debido a que no es muy frecuente su uso ya que solo funciona en temporada de lluvias.

En el primero de los casos es válido tomar para el cálculo de la energía consumida 24 horas de funcionamiento diario, durante los 365 días del año. En cambio, en el segundo caso considerado, la cantidad de horas anuales de trabajo de las bombas es muy baja (dependiendo de la hidrología del sitio), perdiendo peso el atributo de una mejor eficiencia de los equipos de bombeo.

1.8.2.3 Adaptabilidad. Es importante que una estación de bombeo sea diseñada para poder adaptarse a los diferentes cambios que pueda experimentar su función a lo largo del tiempo.

Para ello, es necesario que en el momento de su diseño se tenga muy en claro cierta información referente a la estructura y a la necesidad que se espera cubrir, por ejemplo, conocer de la vida útil del proyecto, las condiciones de funcionamiento, el caudal, entre otros.

La estación de bombeo debe ser adaptable de tal forma que en el transcurso del tiempo permita cubrir la condición extrema de la máxima capacidad y a su vez la incorporación gradual de equipos electromecánicos a medida que aumente la demanda.

1.8.2.4 Versatilidad. Esta propiedad es semejante a la adaptabilidad en cuanto se refiere a la posibilidad de adecuarse a las condiciones variables de funcionamiento, sin embargo, a diferencia del anterior, este criterio significa poder adaptarse a los cambios de la capacidad de bombeo en más o en menos.

1.8.2.5 Seguridad. Este criterio está enlazado a la confiabilidad y tiene que ver con la seguridad del funcionamiento.

Un criterio de seguridad que el proyectista debe adoptar es el referido a la capacidad de reserva. Esto es la cantidad de equipos en reserva que la estación de bombeo debe poseer, a fin de garantizar que ante la salida intempestiva o programada de un equipo haya otro en condiciones de poder sustituirlo (ver tabla 8).

Tabla 8. Número de equipos de reserva en función a los equipos operables

Nº Máquinas operables (n)	Nº Equipos de reserva (Nr)
1 a 5	1
6 a 12	2
12 a 25	3
más de 25	Consultar c/fabr

Fuente: Koutoudjian, s.f.

1.8.3 Componentes principales de una estación de bombeo

En el caso de las estaciones de bombeo de aguas pluviales o de las estaciones de bombeo de cámara seca para servicios cloacales, las obras civiles se componen básicamente de las siguientes partes (Koutoudjian, s.f.):

1.8.3.1. Canal de entrada/aducción. Se encarga de trasladar el agua al pozo de bombeo sin generarle al pozo movimientos turbulentos que pudieran ingresar a la aspiración de las bombas.

1.8.3.2 Pozo de bombeo o cámara de succión. Este es el área hidráulica donde se almacena el fluido que habrá de bombearse. Su función es la de compensar la diferencia de volúmenes que llegan a la estación de bombeo con los que habrán de bombearse, dado que no siempre coinciden el caudal afluente a la estación con el caudal efluente. En la figura 19 se muestra la fotografía del pozo de bombeo actual de la zona de estudio



Figura 19. Pozo de bombeo de la Av. Grau
Fuente: Fotografía propia.

1.8.3.3 Casa de bombas. Es una estructura en donde se puede encontrar a los equipos del sistema de bombeo.

1.8.4 Equipo de bombeo

1.8.4.1 Bombas centrífugas. Castilla y Galvis (1993) definen a este tipo de bombas de la siguiente manera: “Las bombas centrífugas son aquellas que generan un

aumento de la presión del líquido bombeado, por medio de elementos rotatorios llamados impulsores, los cuales producen sobre el fluido una acción centrífuga” (p.56).

Las bombas centrífugas se clasifican en 3 grupos (Castilla & Galvis, 1993):

- Las bombas radiales
- Las bombas axiales
- Las bombas mixtas

1.8.4.2 Bombas de desplazamiento positivo. En las bombas de desplazamiento positivo, se entrega una cantidad constante de fluido durante cada ciclo de rotación del elemento de bombeo, esto es una característica física de la bomba y no depende de la velocidad de accionamiento. La entrega se debe gracias a las tolerancias que existen entre el elemento de bombeo y su contenedor (Solorzano, 2016).

Las bombas de desplazamiento positivo pueden ser fijas o variables. En las bombas fijas se tienen un caudal constante y a una velocidad específica, mientras que en una bomba variable se puede modificar el caudal alterando la geometría de la cavidad de desplazamiento (Solorzano, 2016).

Capítulo 2

Descripción del área de estudio

2.1 Ubicación de las zonas de interés

La zona de estudio se encuentra en la franja central de la ciudad de Piura por lo tanto es un lugar urbanizado, bordeada por un perímetro de cuatro vías importantes las cuales son: Av. Sánchez Cerro, Av. Vice, Av. Grau y Av. César Vallejo. Aquí se ubican las urbanizaciones El Chilcal, Residencial, Los Bancarios, Petroleros y Santa Ana, las cuales conforman el área de estudio. Este lugar ha sido escenario de las consecuencias devastadoras causadas por los distintos Fenómenos El Niño ocurridos en el norte del Perú, por ello requiere de una mayor atención.

2.2 Descripción de las zonas de drenaje

2.2.1 Generalidades

La urbanización El Chilcal forma parte de una cuenca ciega de la ciudad de Piura, desde hace mucho tiempo ha sido uno de los puntos más críticos de la ciudad frente a fenómenos pluviales, como medida para solucionar la situación en las zonas aledañas como Los Bancarios, Residencial y Santa Ana, se optó por diseñar un sistema de drenaje por gravedad, donde todas las aguas concurrirían en El Chilcal para luego ser bombeadas a un sistema de drenaje mayor que evacuaría estas aguas a una zona de disposición final.

Sin embargo, el sistema de drenaje existente, durante los últimos fenómenos no ha dado buenos resultados, se ha notado mucha falta de criterio en su diseño y por ende ha causado pérdidas y daños para los pobladores que han tenido que afrontar estas eventualidades.

Como prevención para el Fenómeno El Niño de 1997, se construyó un sistema de evacuación por bombeo, que consiste en drenes pluviales como el dren Ignacio Merino, dren

Vallejo, dren Sechura y las casetas de bombeo del Chilcal. Ambos drenes están conectados por un conducto cubierto a flujo libre de sección rectangular de base de 7.8m y de 2.83m de altura. La caseta de bombeo ubicada en la avenida Grau cuenta con 4 electrobombas con una capacidad de caudal de evacuación de $0.200\text{m}^3/\text{s}$ cada una y un tubo de descarga de 10" de diámetro.

Todo el sistema que recoge agua desde la urbanización Ignacio Merino, pasa por El Chilcal y el dren Japón para finalmente desembocar en la laguna Santa Julia. No obstante, ante el último fenómeno del 2017 la situación ha seguido igual, causando el malestar de siempre a los habitantes, lo que indica que la solución implementada no es la más adecuada.

2.2.2 Cuenca del río Piura

AACHCHP, IRAGER y PDRS/GTZ (s.f.) describen la ubicación geográfica de la cuenca del río Piura de la siguiente manera: “La cuenca del río Piura, se sitúa en la región de Piura, en el norte del Perú, entre los 0 y 3600 m.s.n.m., geográficamente, se halla situada entre las siguientes coordenadas: $99^{\circ} 33'$ - $80^{\circ} 58'$ longitud oeste y $04^{\circ}46'$ - $05^{\circ}43'$, latitud sur” (p.7).

AACHCHP, IRAGER y PDRS/GTZ (s.f.) indican el aspecto físico de la siguiente manera: “La cuenca del río Piura es de forma irregular en sus nacientes y elongada en el sentido SE-NO hasta la altura de la quebrada San Francisco y desde aquí cambia de dirección casi E-O donde tiende a estrecharse hasta la altura del canal de derivación Tablazo” (p. 8).

AACHCHP, IRAGER y PDRS/GTZ (s.f.) determinaron que la cuenca está formada por dos grandes áreas fisiográficas: La primera, de mayor extensión, denominada medio y bajo Piura, que hace referencia a un área de pendiente muy ligera, con pequeños cauces erráticos de quebradas secas que sólo funcionan en las épocas del Fenómeno El Niño y por un curso amplio del río principal que con el transcurso del tiempo ha cambiado su punto de descarga. La segunda, denominada alto Piura, está conformada por la cordillera occidental, con valles interandinos de pendientes muy pronunciadas, donde sí se puede definir fácilmente el *divortium aquarum* con las cuencas de los ríos Huancabamba, Quiroz y Chipillico (p.7).

Rodriguez (2011) define el clima de la cuenca de la siguiente manera: El clima de la cuenca del río Piura, pertenece al de una zona subtropical según la clasificación de Koppen y al tipo de clima semitropical costero de Pettersen, caracterizados por pluviosidad moderada y altas temperaturas, con pequeñas oscilaciones estacionales. Específicamente en la parte baja y media de la cuenca, el clima es cálido y seco, típico de la costa norte del Perú. Recibe influencia de las variaciones de la faja Ecuatorial y los cambios de dirección en sentido este-oeste de las corrientes marinas de aguas frías (Humboldt) y caliente (Ecuatorial) (p.11).

Rodriguez (2011) clasifica la cuenca del río Piura en 3 tipos de acuerdo al régimen de lluvias : El primero, corresponde la zona baja entre el nivel del mar y 80 msnm. Esta área bastante extensa, abarca precipitaciones limitadas del orden de 10 a 80 mm al año, concentrándose en el período de enero – abril, y siendo seco en los meses restantes del año. Las lluvias en esta zona son muy irregulares, y parecen estar muy relacionados por la ocurrencia aleatoria de fenómenos meteorológicos intensos ocasionados por el Fenómeno El Niño que hacen generar lluvias de gran intensidad, llegando a superar en 20 veces los valores normales. El segundo tipo, hace referencia a la franja ubicada entre los 80 y 500 msnm, donde las lluvias que ocurren son del orden de los 100 mm y 600 mm. Ocurren en general en los periodos de diciembre - mayo con características de variabilidad menor que el primer grupo, y en el resto del año las lluvias son muy bajas llegando hasta en algunos años a cero. El tercer tipo corresponde a la franja ubicada desde los 500 msnm hasta la línea divisoria de aguas, esta zona alta obedece a un régimen pluvial amazónico caracterizado por baja variabilidad de lluvias promedios anuales que varían entre 700 y 1100 mm (p.12).

Por otro lado, el Fenómeno El Niño, recibe este nombre refiriéndose al niño Jesús y fue dado por los pescadores del norte del Perú, quienes se dieron cuenta que todos los años hacia finales de diciembre, cerca de la navidad, se incrementaba la temperatura del agua del mar, a lo largo de la costa norte. Los pescadores la denominaron la corriente de El Niño a esta corriente marina de aguas cálidas.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (s.f.) determinó lo siguiente: La existencia de estas aguas cálidas en las costas peruanas es un fenómeno recurrente que tiene una duración de muchos meses. Ahora sabemos que este calentamiento marino-costero se origina cada cierto periodo de años, siendo una manifestación de los cambios que ocurren en las capas superficiales y sub superficiales del océano. Esto está

relacionado a interacciones complejas con la atmósfera que se producen en el océano Pacífico ecuatorial, a miles de kilómetros de la costa peruana en el océano Pacífico (párrafo 2).

Perú y Ecuador son países con salida al océano Pacífico y que, desde la época prehispánica, han experimentado el Fenómeno El Niño. Sin embargo, el fenómeno ocurrido el año 2017 fue conocido como El Niño Costero, se diferencia de El Niño común ya que este sólo se desarrolla por toda la costa peruana y ecuatoriana; a diferencia de El Niño, el cual abarca un área mucho mayor del océano Pacífico (Mongabay Latam, 2017).

Es decir, no hay un mayor impacto porque este calentamiento es solo costero y no abarca la gran extensión oceánica a lo largo del Pacífico que hubiera podido traer mucha más agua caliente, por lo tanto, se define como solo un calentamiento local anómalo del mar frente a la costa peruana y es una consecuencia del debilitamiento del anticiclón del Pacífico sur.

Las fuertes lluvias tuvieron origen en el calentamiento del mar que limita las costas del Perú y Ecuador, un fenómeno denominado El Niño Costero. El aumento de la temperatura del mar se vincula con las corrientes de aire del norte, provenientes de Centroamérica, que se mueven con dirección al sur, favoreciendo el calentamiento del mar y con la llegada de aguas cálidas provenientes de Asia y Oceanía. A su paso por las costas de Ecuador y Perú, la corriente de aguas cálidas no encontró una barrera suficientemente fuerte de vientos alisios que impidiera su llegada con tanta fuerza (BBC Mundo, 2017).

La masa de aguas cálidas se caracteriza por ser superficial y de fácil evaporación; el agua del mar llega a alcanzar temperaturas de hasta 29° C, lo que genera una atmósfera inestable y lluvias intensas (Solís, 2017).

Debido a las intensas lluvias registradas el año 2017 ocasionadas por el Fenómeno El Niño Costero, el río Piura incrementó su caudal a casi 3 mil metros cúbicos por segundo. Sin embargo, el 27 de marzo el río se desbordó e inundó diversas calles del centro de la ciudad y del bajo Piura (ver figura 20). El agua salió del cauce e inundó el puente Andrés Avelino Cáceres que une los distritos de Piura y Castilla afectando también a las urbanizaciones cercanas a la ribera del río Piura y Castilla afectando también a las urbanizaciones cercanas a la ribera del río (América Noticias, 2017).



Figura 20. Catacaos tras el ingreso del río
Fuente: Prieto, 2017.

2.3 Fenómeno El Niño

2.3.1 Descripción

El Fenómeno El Niño - Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno meteorológico muy complejo que afecta principalmente a las costas de Sudamérica y a la zona de oceanía debido al calentamiento de la superficie de las aguas del Pacífico. Las aguas superficiales de una gran franja del océano Pacífico tropical se calientan o enfrían entre 1°C y 3°C en comparación a la normal, afectando la distribución de las precipitaciones.

2.3.2 Formación del Fenómeno El Niño

Los vientos que corren por la superficie se conocen como vientos alisios, que soplan de este hacia el oeste, el océano Pacífico absorbe gran cantidad de calor solar, ese calor aumenta temperatura de la superficie de las aguas que son empujadas. El mar absorbe el calor de los rayos solares, mientras que el viento circula de este a oeste sobre la superficie del océano pacífico ecuatorial y en sentido contrario a lo alto de la atmósfera formando un sistema de circulación conocido como celda de Walker que controla el clima en las regiones tropicales del planeta. En condiciones normales los vientos alisios convergen en la zona ecuatorial, empujando las aguas superficiales del océano Pacífico hacia las costas de oceanía, esto provoca una acumulación de agua caliente y el aumento en nivel del mar en la región de Indonesia, mientras que frente las costas de Ecuador, Perú y Chile el nivel del mar es más

bajo y se facilitan las emergencias, que son el ascenso de las aguas profundas, frías y ricas en nutrientes, que fertilizan a los ecosistemas oceánicos.

En condiciones El Niño los vientos alisios se debilitan o dejan de soplar y las aguas cálidas se desplazan por la zona ecuatorial hasta llegar en las costas de Perú y Ecuador, en estas condiciones se suprimen las emergencias y el agua cálida se expande a lo largo del continente americano y a su vez el aire caliente y húmedo se eleva y cae en forma de lluvia en la región ecuatorial (ver figura 21).

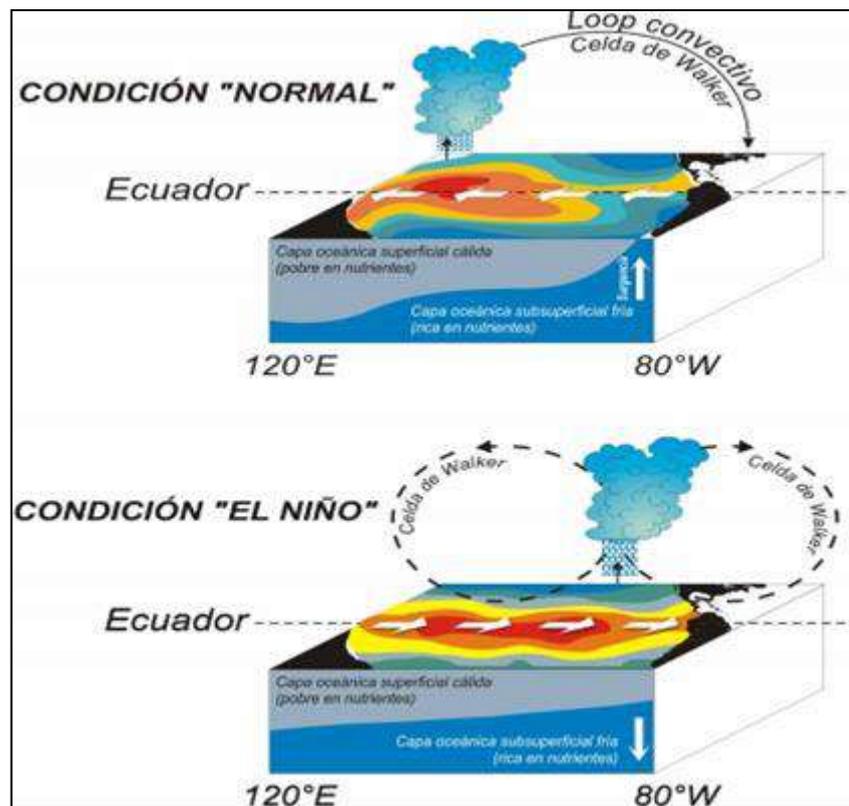


Figura 21. Diferencias en condiciones normales y en condiciones El Niño
Fuente: Diario Época, 2015.

2.3.2.1 Periodo de retorno. Es de carácter cíclico y su periodo de retorno varía entre 2 y 7 años, con un tiempo de duración entre 12 a 18 meses, aunque en los últimos años el periodo de retorno se ha reducido a menos de 6 años.

En el Perú se han presentado intensos Fenómenos El Niño que han traído consigo innumerables pérdidas en todos los sectores, estos se registran en la siguiente tabla (tabla 9).

Tabla 9. Fenómenos El Niño más intensos que sucedieron en el Perú

AÑO	DESCRIPCION
2017	En el gobierno de Pedro Pablo Kuczynski. Es uno de los peores de nuestra historia.
1997-98	En el gobierno de Alberto Fujimori. El segundo gobierno del expresidente Fujimori soportó uno de los fenómenos más fuertes del Perú
1982-83	En el gobierno de Fernando Belaunde. Antes de que el país fuera consumido por el terrorismo y la hiperinflación, hubo una crisis interna debido a este fenómeno.
1925	En el gobierno de Augusto B. Leguía. Durante el oncenio el Perú padeció crisis.
1891	En el gobierno de Remigio Morales Bermúdez. La última de las tres eventualidades del siglo XIX sucedió durante el gobierno del presidente Morales Bermúdez.
1877-78	En el gobierno de Mariano Ignacio Prado. Un año antes de detonar la guerra del pacifico, Perú tuvo que mirar hacia el norte para tratar un feroz Fenómeno El Niño.
1828	En el gobierno de José de la Mar. La algarabía por la independencia no duro mucho cuando la naturaleza decidió desestabilizar nuestra joven nación.
1791	En el gobierno de Francisco Gil de Taboada y Lemos. El ultimo virrey que sufrió un FEN.
1728	En el gobierno de José de Armendáriz. Exactamente cien años ante de otro FEN en la lista, la costa sufrió la misma debacle.
1578	En el gobierno de Francisco Álvarez de Toledo. El más antiguo y del más terrible Fenómeno El Niño del que se tiene memoria.

Fuente: Gestión, 2017.

2.3.2.2 Aumento en la temperatura. El término anomalía de la temperatura significa el alejamiento de un valor de referencia o de la media a largo plazo. Durante el Fenómeno El Niño se da una anomalía positiva, la cual indica que la temperatura observada era más caliente que el valor de referencia, esto se genera debido al ingreso de una masa superficial de aguas cálidas al mar, desde el norte en el caso del Perú, afectando muchas veces la pesca.

En el pacífico tropical se exhiben temperaturas superficiales del mar sobre sus valores normales, alcanzando en la región oriental anomalías de más de 3.5°C. A nivel sub superficial (entre 100 y 200 m), se mantiene la presencia de una gran piscina cálida, la cual, en su núcleo central, presenta anomalías de hasta 6.0°C, ascendiendo a niveles superficiales a medida que se aproxima a la costa de Sudamérica.

Para darnos una idea del incremento de la temperatura, en el último Fenómeno El Niño las ciudades de la costa del Perú presentaron aumentos de por lo menos 3°C. Ciudades como Lima presentaron días consecutivos de días y noches extremadamente cálidos que superaron el umbral del percentil 99. Entre La libertad y Lima las temperaturas nocturnas fueron particularmente más altas en marzo con anomalías por encima de 3°C.

2.3.2.3 Fuertes lluvias. Debido a la fuerte evaporación del agua del mar y combinado con otros factores meteorológicos, se da origen a la aparición de lluvias intensas. La intensidad de precipitaciones origina huaicos y desbordes, inundando vastas zonas, en el caso del Perú desde el norte hasta el sur. Las lluvias que ocurren durante los Niños muy Fuertes en la costa norte se caracterizan además porque cubren un área importante que abarca varias cuencas y departamentos. En el último Fenómeno El Niño Costero 2017 se registraron lluvias frecuentes e intensas principalmente en la parte norte y central del país, ciudades como Piura, Chiclayo, Trujillo y Huarmey soportaron lluvias entre “fuertes” a “extremadamente fuerte”. Por ejemplo, en Morropón se registró 150 mm/24 hr, en Tambo Grande 258.5/24 hr, Jayanca reporto el segundo valor más alto de toda su serie histórica con 113 mm/ 24 hr (Comisión Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño [ENFEN], 2017).

Otra de las características de las lluvias correspondientes a los Niños fuertes es la gran duración del periodo lluvioso, las lluvias del Fenómeno El Niño de 1998 duraron cuatro meses.

2.3.2.4 Incremento del caudal. Debido a las elevadas precipitaciones se originan fuertes incrementos de los caudales de los ríos. Las crecidas fluviales que ocurren en la costa norte durante los Niños muy fuertes son de larga duración; por lo tanto, implican un gran volumen descargado.

Para tener una idea del incremento del caudal, debido al último Fenómeno El Niño, en enero del 2017 los caudales de los ríos (Tumbes, Chira, Rímac y Pisco) de la región centro-occidental lograron valores muy por encima de sus promedios históricos como consecuencia del incremento de las lluvias (ENFEN ,2017).

En marzo 2017, tras las intensas lluvias, muchos ríos de la costa norte y central alcanzaron niveles de emergencia, generándose activaciones de quebradas secas con arrastre de sólidos en las cuencas medias y bajas, dando origen a caudales históricos en el río Piura, superando los 2,500 m³/s, estos se muestran en la tabla 10 y en las figuras 22 y 23.

Tabla 10. Caudales máximos diarios - período diciembre 2016 – abril 2017

Río	Estación	Q max(m ³ /s) 2017	Fecha
Tumbes	El Tigre	1000.9	10/04/2017
Chira	El Ciruelo	1187.2	31/03/2017
Piura	Pte Sanchez Cerro	2754.5	27/03/2017
Chancay Lambayeque	Racarumi	395.1	13/03/2017
Santa	Condorderro	649.5	19/03/2017
Rímac	Chosica	133.5	17/03/2017
Pisco	Letrayoc	370.0	15/03/2017
Majes	Huatiapa	451.0	10/03/2017

Fuente: ENFEN, 2017.

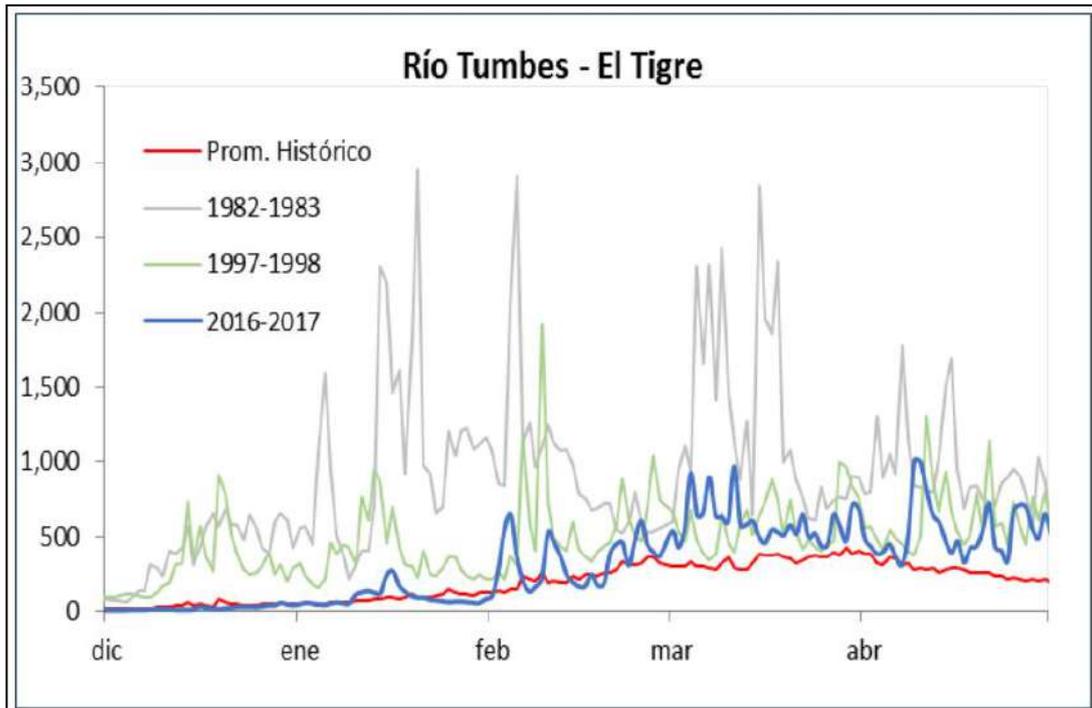


Figura 22 Río Tumbes (estación El Tigre)
Fuente: ENFEN, 2017.

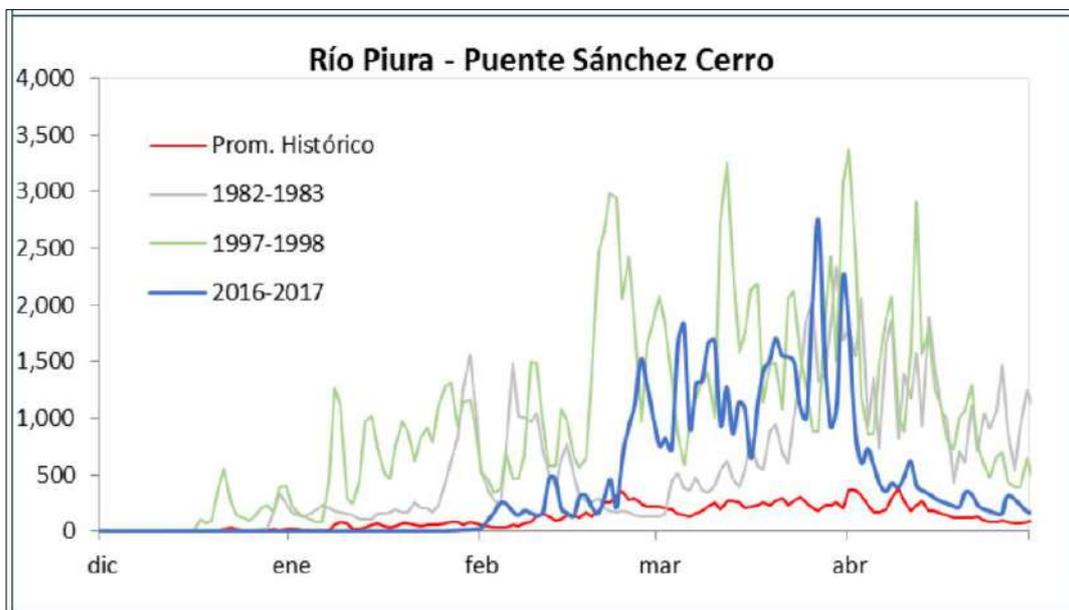


Figura 23. Río Piura (estación Puente Sánchez Cerro).
Fuente: ENFEN, 2017.

2.3.3 Impactos en la costa norte del Perú

Alvarado (2004) mencionó lo siguiente: La costa norte se caracteriza por ser una zona de convergencia intertropical, producto de la compulsión de fuerzas provenientes de los hemisferios norte y sur, que promueve la presencia de un período lluvioso entre los meses de diciembre y abril. Esta zona de convergencia varía latitudinalmente por años, generando situaciones de largos períodos de sequía y también años de lluvias extraordinarias. La cuenca alta del río Piura se puede definir como semiárida en el valle, ligeramente húmeda y templada fría en las partes medias, húmeda y semifrío en la parte alta, existiendo pequeñas zonas en la parte más alta que presentan un clima muy húmedo y frío moderado. Esta caracterización determina la posibilidad de sembrar y criar una diversidad de cultivos y ganado (p.63).

Piura es una ciudad caracterizada por su baja pluviosidad, a excepción de los veranos en donde ocurre el Fenómeno El Niño, en los cuales se ha notado la aparición de máximos caudales que han sobrepasado el límite de los sistemas de drenaje de la ciudad, dando como resultado daños y pérdidas. Lo más alarmante de esta situación es que este fenómeno cada vez aparece con mayor intensidad y en un periodo de retorno más corto que el anterior, lo cual es una situación preocupante para los ciudadanos que aún no ven obras de control de crecidas, las que amenazan el lugar donde viven.

Desde diciembre de 2016, lluvias e inundaciones provocaron la muerte de 85 personas hasta ese entonces. Los primeros meses del año 2017 se registraron la mayor cantidad de pérdidas humanas y materiales en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque, Loreto, Ica, Ancash, Cajamarca, La Libertad, Huancavelica y provincias de Lima, declarándolos en estado de emergencia por el gobierno nacional.

En Piura, hubo grandes inundaciones principalmente en zonas de cuencas ciegas, así como también, el 27 de marzo el desborde del río Piura afectó a gran parte del centro de la ciudad (ver figura 24), bajo Piura y Castilla. Piura estaba inundada y en algunas zonas el nivel del agua cubría a la persona, por lo que pasar de Castilla a Piura o viceversa era todo un peligro.



Figura 24. Plaza de armas de Piura inundada por El Niño Costero
Fuente: El Comercio, 2017.

Los efectos devastadores de la presencia de este fenómeno se observaron en los sectores de agricultura, transporte, salud, vivienda, educación, pesquería, energía y minas con daños y pérdidas cuyos montos han sido extremadamente elevados.

En el sector salud, aparecieron enfermedades estomacales, cutáneas, dengue, sika, etc. debido a la formación de lagunas infecciosas que se formaron por la combinación de aguas pluviales con aguas servidas, lo cual elevaba los gastos por salud.

Muchas viviendas que se encontraron ubicadas en cuencas ciegas o en el curso natural del río, fueron inundadas y deterioradas por el paso de este fenómeno, las infraestructuras se debilitaron y se interrumpió la prestación de los servicios públicos, finalmente todo ello trajo como consecuencia la desvalorización de estas propiedades.

El nivel de aporte económico de la población al PBI se redujo, así como los niveles de desarrollo económico y social de la población de la ciudad de Piura.

El sector transporte se vio afectado (ver figura 25), por los muros de barro proveniente de los huaicos, éstos hacían que muchas carreteras se bloquearan, de la misma forma, el peligro de que mientras un vehículo pasara por una zona de cerros y sufra un accidente de este tipo, era latente. En Piura, muchas vías quedaron cerradas debido a las extensas lagunas que se habían formado, por el desborde del río Piura o por su aumento drástico en el nivel del agua. Otras se dañaron al punto de que la carpeta asfáltica desapareció, era muy complicado el

tránsito por toda la ciudad. Las autoridades usaron motobombas para evacuar el agua de las lagunas artificiales y llevaron volquetes de tierra para evitar que los neumáticos de los vehículos se deslizaran por el barro y caminos jabonosos.



Figura 25. Destrucción de carretera durante el Fenómeno El Niño Costero
Fuente: RPP Noticias, 2017.

Sin embargo, después de las lluvias y con el fuerte sol que caracteriza a Piura, se fue secando todo y aquellas capas de arena que se agregaron para evitar peligros en el flujo del tránsito, se convirtieron en un gran problema para los habitantes. Y es que, como consecuencia de la baja calidad del aire, Piura pasó a ser una ciudad contaminada, debido al polvo que se levantaba por el movimiento de los vehículos y el viento (ver figura 26), lo que trajo la probabilidad de contraer enfermedades pulmonares, asma, cirrosis; especialmente para los niños y ancianos, que son siempre los más expuestos, por lo que la población optó por usar mascarillas como medida de protección.



Figura 26. Aire contaminado después del Fenómeno El Niño Costero en Piura
Fuente: Zapata, 2017.

Se generó grandes pérdidas millonarias como “en el caso del sector pecuario, El Niño Costero ha ocasionado una pérdida de 300 millones de soles, tanto en el rubro avícola, caprino y otros animales menores” (Gestión, 2017, párrafo 1).

Cerca de 90 mil hectáreas de cultivos instalados de banano, caña, arroz y otros, fueron destruidos y no pudieron ser cosechados (figura 27), lo que dio como resultado una pérdida de 450 millones de soles aproximadamente. A esta cifra habrá que sumarle los miles de hectáreas que fueron afectadas y el costo para su recuperación. Precisó el presidente de la Convención Nacional del Agro Peruano (Conveagro), y de la Sociedad Peruana de Criadores de Alpacas y Llamas, Héctor Carrasco (Gestión, 2017).

En diferentes zonas de Piura se vieron afectados como mínimo con 30,000 hectáreas de sembríos, mientras que en Lambayeque fueron arrasadas 15,000 no pudieron ser cosechadas (Gestión, 2017).

Definitivamente, la costa norte sufrió una vez más las consecuencias que traen los fenómenos de esta magnitud.



Figura 27. Sembríos arrasados por los embates de la naturaleza
Fuente: Gestión, 2017.

2.4 Diagnóstico socio urbano y estructural del drenaje superficial actual

Frente a los daños sufridos por la llegada del Fenómeno El Niño años atrás, las autoridades decidieron construir una serie de drenes pluviales como el dren de Ignacio Merino y el dren Vallejo junto a una caseta de bombeo en la avenida Grau, todo este sistema con la finalidad de mitigar las inundaciones.

A lo largo de las calles de las urbanizaciones involucradas, se pueden observar rejillas que forman parte de este sistema, captando el agua de las avenidas y llevándolas a un solo punto ubicado en la calle Los Andes, para luego ser evacuadas por el sistema de bombeo y retiradas de esta zona para disminuir los peligros latentes. También realizando topografía se observó que todas las calles tienen una pendiente adecuada para hacer discurrir las aguas hacia este punto en los Andes, aparentemente un buen sistema de drenaje por gravedad. Sin embargo, el poco criterio técnico para diseñar este tipo de obras dio como resultado un sistema defectuoso. Los drenes que se construyeron en la franja central fueron diseñados para lluvias de menor intensidad a las que un Fenómeno El Niño puede traer, por lo tanto, este sistema colapsó en el momento que más urgía su funcionamiento y en lugar de evacuar toda el agua, la escasa capacidad de bombeo dio origen a extensas lagunas.

La cámara de bombeo de la avenida Grau y la de Ignacio Merino colapsaron como resultado de su incapacidad de evacuación, pues permitió que las aguas inunden las cámaras de bombeo y su alrededor impidiendo que se presten las atenciones logísticas que se requerían para realizar su operación. Lo mismo se puede notar en los conductos cerrados donde hay tramos en los que las tapas han sido movidas o incluso rotas permitiendo así la salida del agua hacia las zonas más bajas del Chilcal, como si fuera poco, la falta de cultura de la población que se ha sumado para ser un obstáculo más para este deficiente sistema de drenaje, ya que en tramos del canal se puede observar la presencia de basura que obviamente se convierte en sedimentos que obstaculizan el flujo de las aguas, causando una vez más que éstas busquen otra salida, desfogando por las zonas más bajas del Chilcal, generando así inundaciones.

Dicha cuenca se vio inundada de aguas de desagües y lluvias, al haber colapsado por la falta de limpieza del dren Vallejo, que está colmatado y que discurrir las aguas bombeadas de la urb. Ignacio Merino, hizo que se rebasaran y se inundará las urbanizaciones El Chilcal (ver figura 28) y Los Petroleros. Ante la desesperación, las familias damnificadas pedían a las autoridades la presencia de más motobombas en esta zona, pues sus viviendas estaban inundadas con aguas contaminadas y temían que se desate una epidemia de dengue.



Figura 28. Urbanización El Chilcal durante el Fenómeno El Niño Costero
Fuente: América Noticias, 2017.

Cabe destacar que actualmente muchas de las rejillas están rotas u oxidadas disminuyendo así su capacidad para cumplir su función y da lugar a que se conviertan en depósitos de basura por la falta de cultura de los pobladores.

Como si este sistema de drenaje pluvial no tuviera suficientes carencias, en la zona de desemboque, en la laguna Santa Julia, hay personas que habían construido sus viviendas en este lugar, exponiéndose a un gran peligro ya que el agua siempre va a buscar su cauce natural y por lo tanto arrasaría con todo lo que tuviera en su camino.

Es evidente que este sistema de drenaje necesita mejoras e invertir el dinero necesario para que la solución sea eficiente, pero a su vez, urge que la población también tome conciencia de estos eventos y sea parte de la solución más no del problema. La figura 29 muestra las rejillas transversales actuales ubicadas en el punto más bajo de la urbanización El Chilcal.



Figura 29. Rejillas transversales en el punto más bajo de la urbanización El Chilcal
Fuente: Fotografía propia.

2.5 Descripción de la problemática

La urbanización El Chilcal, ya dispone de un sistema de evacuación de aguas pluviales por bombeo, que consiste en 4 bombas de 200l/s y un canal de sección rectangular que conecta el dren Cesar Vallejo con el de la urbanización Ignacio Merino y desemboca en la laguna Santa Julia. Sin embargo, durante en el Fenómeno El Niño del año 1998 y 2017 se ha podido notar que, en el trayecto, las aguas que vienen de Ignacio Merino encuentran el conducto obstruido por basura y en algunas secciones las losas que tapan el canal están rotas, lo que ocasiona su afloramiento en la parte más baja de El Chilcal, ingresando por las calles que están cercanas a las avenidas Grau y César Vallejo hacia la parte más baja en el jirón Villar. Por lo tanto, este sistema colapsa y no puede cumplir con la función para lo cual se construyó, produciéndose inundaciones en las zonas comprometidas.

Para agravar la situación, las inundaciones no eran solo de aguas pluviales sino también de aguas servidas, por el colapso simultaneo de la red de alcantarillado, poniendo en mayor riesgo a los pobladores, ya que se convirtió en un foco de enfermedades infecciosas y con presencia de roedores.

2.6 Alternativas y selección del sistema de drenaje pluvial

En la ciudad de Piura los flujos de escorrentía son desalojados por medio de drenes repartidos de acuerdo a la topografía que presenta la ciudad.

En la figura 30 se muestra el sistema de drenaje pluvial de las ciudades de Piura y Castilla, ahí se muestra la distribución de estructuras hidráulicas de evacuación de aguas lluvia hasta sus respectivas disposiciones finales, por medio de un mapa extraído del Instituto Nacional de Defensa Civil:

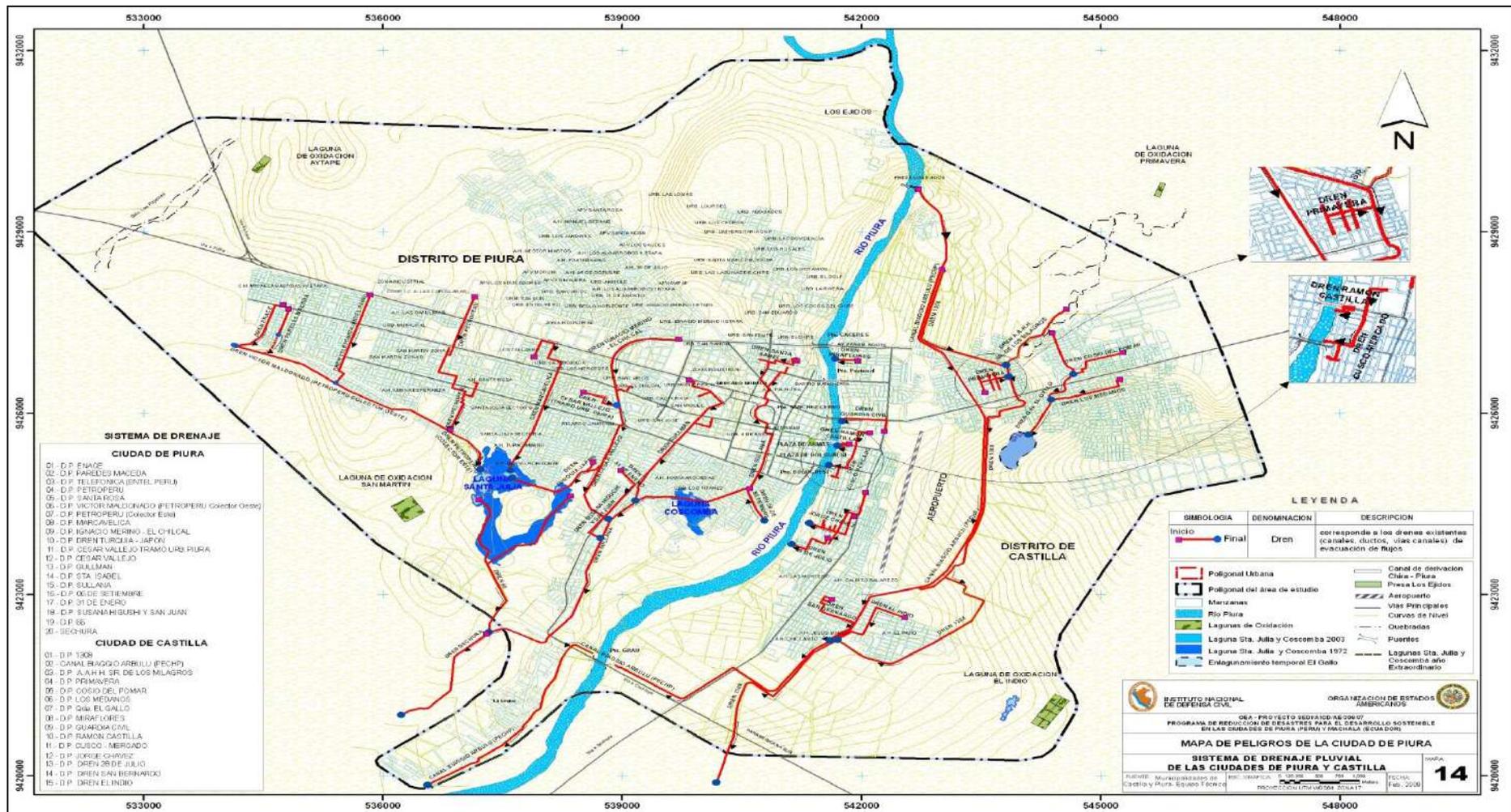


Figura 30. Sistema de drenaje pluvial urbano de las ciudades de Piura y Castilla
Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil, 2009.

2.6.1 Soluciones alternativas a la evacuación directa

El problema de las aguas de lluvias en zonas urbanas tradicionalmente se ha enfrentado de manera de transportar y desalojar de manera rápida los posibles excesos conduciéndolos a través de redes de colectores hacia el cauce natural más cercano.

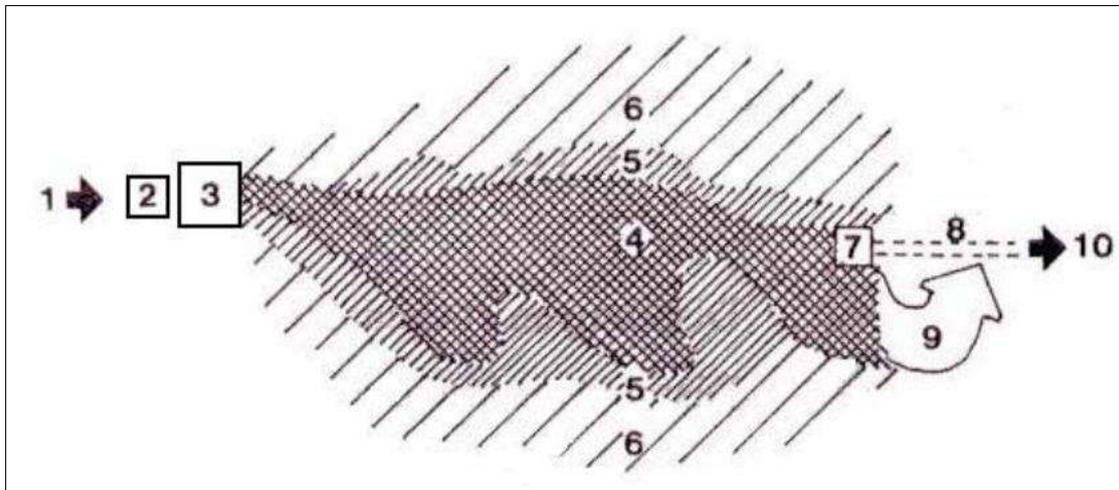
Últimamente se han generado algunas observaciones ambientales a esta solución debido a los impactos que esta práctica genera en el sistema natural de drenaje hacia aguas debajo de los lugares de descarga, principalmente en relación con el aumento de los riesgos de inundación y el incremento de erosión y sedimentación en los cauces. Además, también se cuestiona que el enfoque tradicional daña el balance hídrico natural, genera efectos de choque por la descarga concentrada de contaminantes, o contribuye al mal funcionamiento de unidades de tratamiento en el caso de sistemas que reciben flujos contaminados de aguas servidas y aguas lluvias. Teniendo en cuenta estos problemas, algunas comunidades han propuesto un tratamiento diferente relacionado en la retención temporal de las aguas de lluvias. Esto permite la infiltración total o parcial de las aguas de lluvias, o su almacenamiento para desalojar con posterioridad a las tormentas de forma que se pueda disminuir el volumen de descarga y los gastos máximos durante las tormentas. A este esquema se conoce como de control en la fuente.

Las soluciones alternativas a la evacuación directa ponen en juego almacenamientos temporales para reducir los volúmenes de descarga con gastos menores una vez que pasan los períodos críticos, o mediante la reducción de los volúmenes de escurrimiento por medio de la infiltración en el suelo.

2.6.1.1 Almacenamiento temporal de las aguas de lluvias. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996) explica la función de este tipo de obras: Varía en el tiempo la alimentación de aguas lluvias hacia las redes de drenaje o los cauces receptores. Su principal efecto consiste en reducir el valor de los gastos máximos a desalojar sin hacer que se afecte el volumen total escurrido. En esta categoría se incluyen almacenamientos difusos y localizados de las más variadas geometrías (cap.2).

Entre estas obras tenemos:

- Lagunas de retención: En la figura 31 se puede apreciar los elementos principales que forman parte de una laguna de retención.

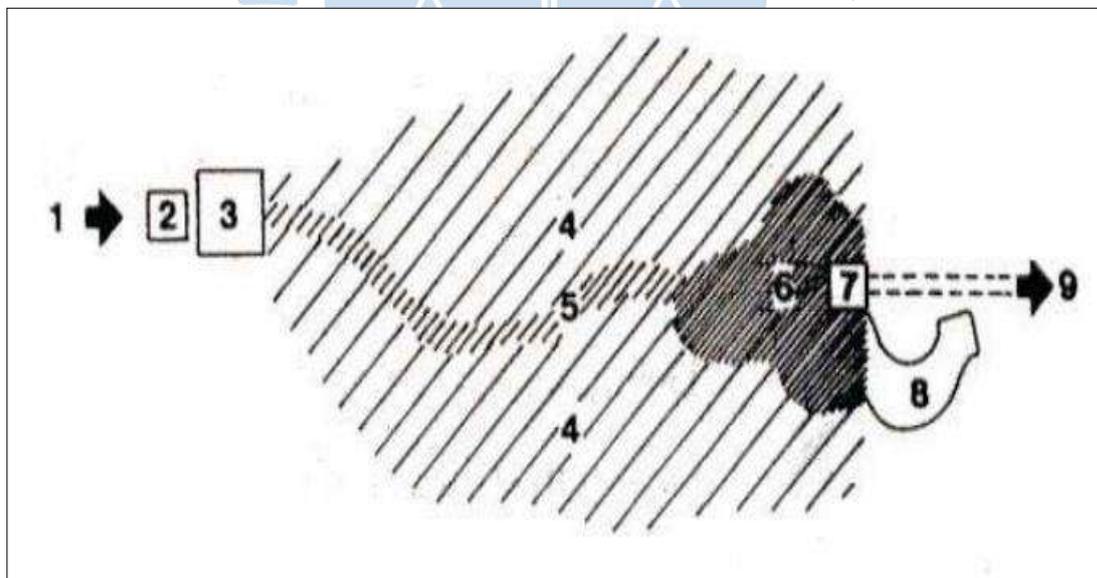


Nota: Disipador de energía(opcional), 3.-Sedimentador(opcional), 4.-Zona laguna permanente, 5.-Zona litoral(opcional), 6.-Zona de inundación, 7.-Cámara de descarga, 8.-Tubería de descarga, 9.-Vertedero de seguridad, 10.-Conexión a la red de drenaje

Figura 31. Esquema de los elementos principales de una laguna de retención

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

- Estanques de retención: En la figura 32 se muestran los elementos principales que conforman un estanque de retención.



Nota: 1.-Entrada, 2.-Disipador de energía(opcional), 3.-Sedimentador(opcional), 4.-Zona compatible con otros usos, 5.-Canal de flujos bajos, 6.-Zona inferior, 7.-Obra de descarga, 8.-Vertedero de seguridad, 9.-Conexión a red de drenaje

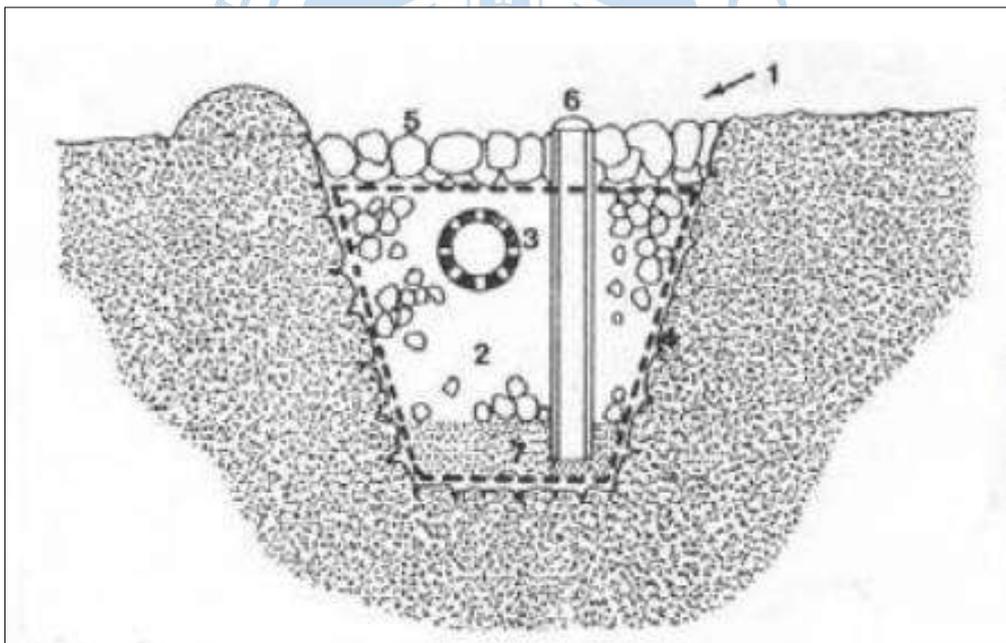
Figura 32. Esquema de los elementos principales de un estanque de retención

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

2.6.1.2 Infiltración de aguas lluvias. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996) establece las siguientes características de este tipo de obras: Conducen a una reducción de los gastos máximos y de los volúmenes a desalojar. La cantidad de contaminantes se reducen ya que se quedan retenidos en el suelo o suelen quedarse atrapados al infiltrarse. El grado de saturación de los suelos involucrados va ser un factor muy importante ya que de este va depender la efectividad de estos dispositivos. La capacidad del suelo para absorber aguas lluvias está en función, entre otros factores, de la cubierta vegetal, el tipo y condiciones del suelo, las características del acuífero en el lugar y la calidad de las aguas lluvias. Los dispositivos de este tipo también pueden clasificarse como concentrados o difusos (cap.2).

Entre estas obras tenemos:

- Zanjas de infiltración: En la figura 33 se muestran los elementos principales que conforman una zanja de infiltración.

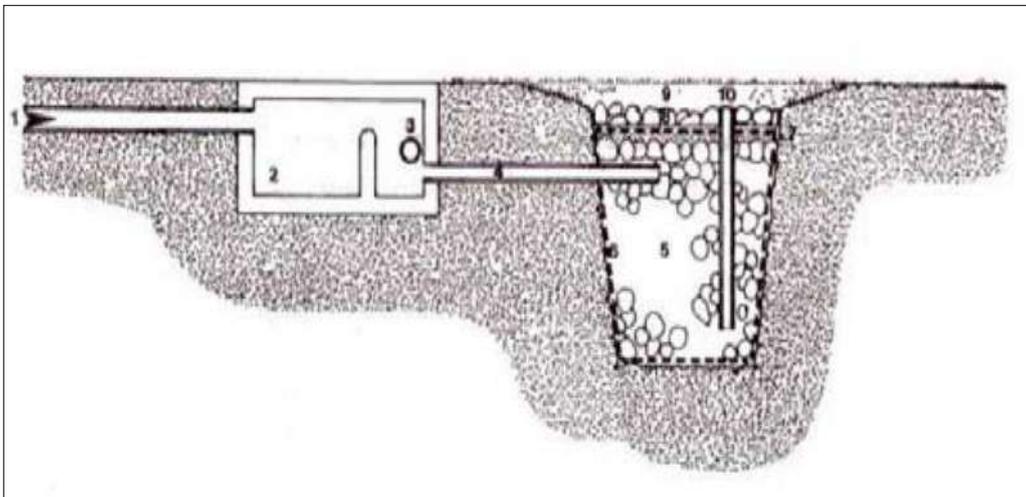


Nota: 1.-Alimentación (opcional), 2.- Relleno, 3.-Tubería perforada (opcional), 4.-Geotextil, 5.- Cubierta, 6.- Piezómetro, 7.-Filtro granular (opcional)

Figura 33. Elementos de una zanja

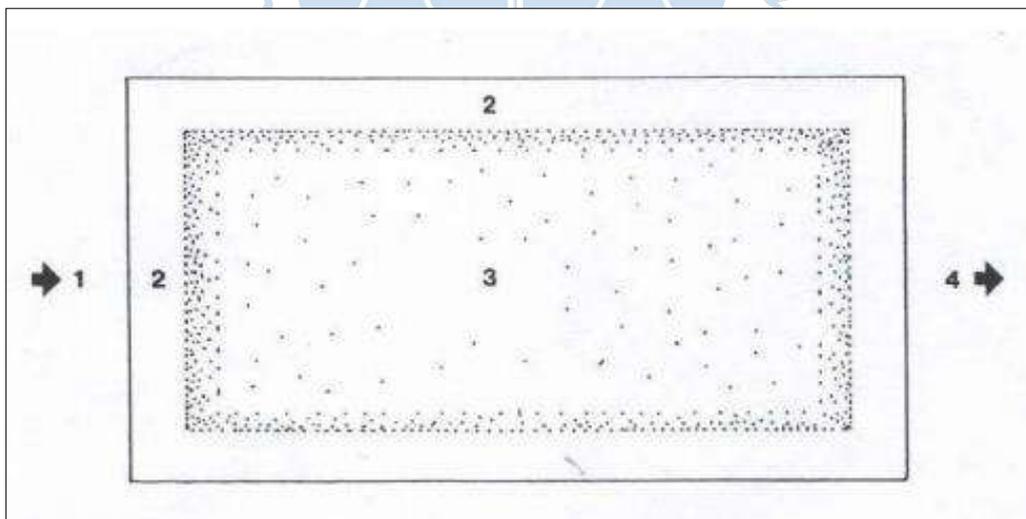
Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

- Pozos de infiltración: En la figura 34 se muestran los elementos principales que conforman un pozo de infiltración.



Nota: 1.-Alimentación por tubo (opcional), 2.-Decantador (opcional), 3.-Rebose(opcional), 4.-Tubería de conexión, 5.-Relleno, 6.-Geotextil, 7.-Filtro superficial(opcional), 8.-Cubierta superior, 9.-Alimentación superficial(opcional), 10.-Piezómetro
 Figura 34. Elementos típicos de un pozo de infiltración
 Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

- Estanque de infiltración: En la figura 35 se muestran los elementos principales que conforman un estanque de infiltración.



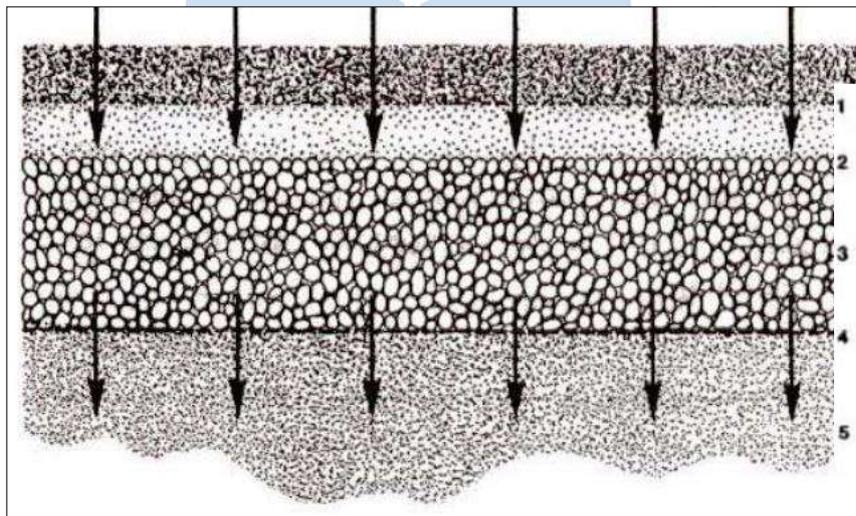
Nota: 1.-Alimentación, 2.-Bordes o muros laterales, 3.-Fondo permeable, 4.-Rebase.
 Figura 35. Disposición de los elementos de un estanque de infiltración
 Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

2.6.1.3 Combinaciones de almacenamiento e infiltración. Este tipo de obras corresponden a la combinación de las obras mencionadas anteriores, las cuales su principal función es lograr una reducción de los caudales máximos a través de una retención y una reducción de los volúmenes a través de una infiltración. Por lo general estas obras alternativas de drenaje tratan de lograr una adecuada combinación de ambos efectos, por lo tanto, este tipo de soluciones son las más favorables (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996).

Entre estas obras se tienen:

- Las fosas absorbentes o zanjias drenantes con capacidades de almacenamiento temporal.
- Los pavimentos porosos conectados a almacenamiento subterráneos
- Los estanques de infiltración y retención, o estanques de almacenamiento temporal con capacidad de infiltración en el lugar.

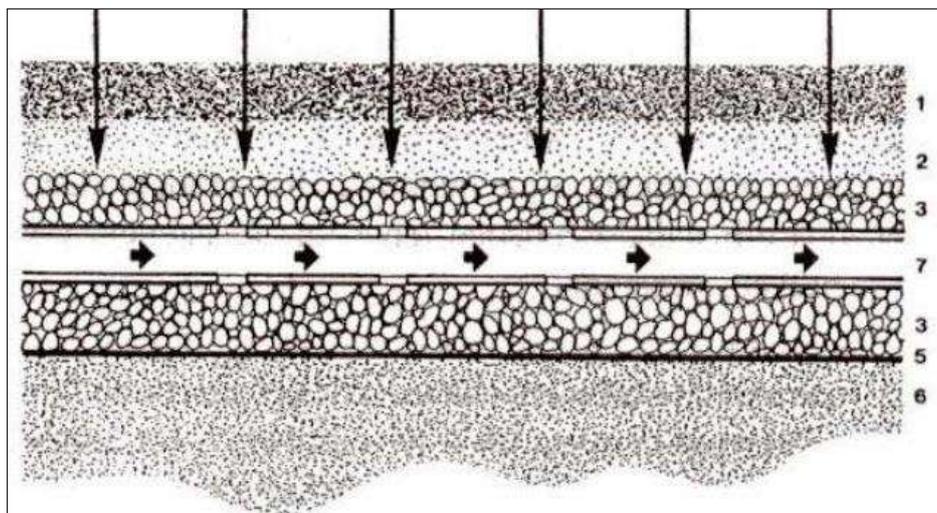
Las figuras 36 y 37 nos muestra los elementos que conforman el paquete estructural de este tipo de obras de acuerdo a su disposición.



Nota: El pavimento infiltra en el mismo terreno hacia la subrasante. El filtro geotextil es altamente permeable. 1.-Carpeta de rodadura de asfalto poroso, 2.-Base o filtro granular graduado, 3.-Subbase de grava, uniformemente graduada, 4.-Filtro geotextil, o filtro granular, o membrana impermeable, 5.-Subrasante de suelo nativo

Figura 36. Disposición difusa local

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.



Nota: El agua que ingresa a la sub base se drena con tubos hacia afuera. 1.-Carpeta de rodadura de asfalto poroso, 2.-Base o filtro granular graduado, 3.-Subbase de grava, uniformemente graduada, 5.-Membrana impermeable, 6.-Subrasante de suelo nativo, 7.-Tubos de drenaje

Figura 37. Disposición concentrada lateral

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.

2.6.1.4 Desconexión de áreas impermeables. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (1996), en este tipo de obras, detalla lo siguiente: Se puede obtener sin la necesidad de hacer obras especiales, basta con algunos detalles en las etapas de diseño de las urbanizaciones, pero el agua lluvia debe recorrer caminos más largos antes de entrar a los sumideros o a la red de drenaje. Aunque el uso de este tipo de obras tiene mayor eficiencia sobre las tormentas pequeñas es muy efectiva en la reducción de los efectos globales de las aguas lluvias durante el año. Puede emplearse con facilidad no sólo a nuevas urbanizaciones sino también en zonas consolidadas. Un ejemplo típico de este tipo de acciones es no conectar los desagües de los techos directamente a la red de drenaje pluvial, sino por ejemplo hacia los jardines interiores, tal y como se muestra en la figura 38 (cap.2).

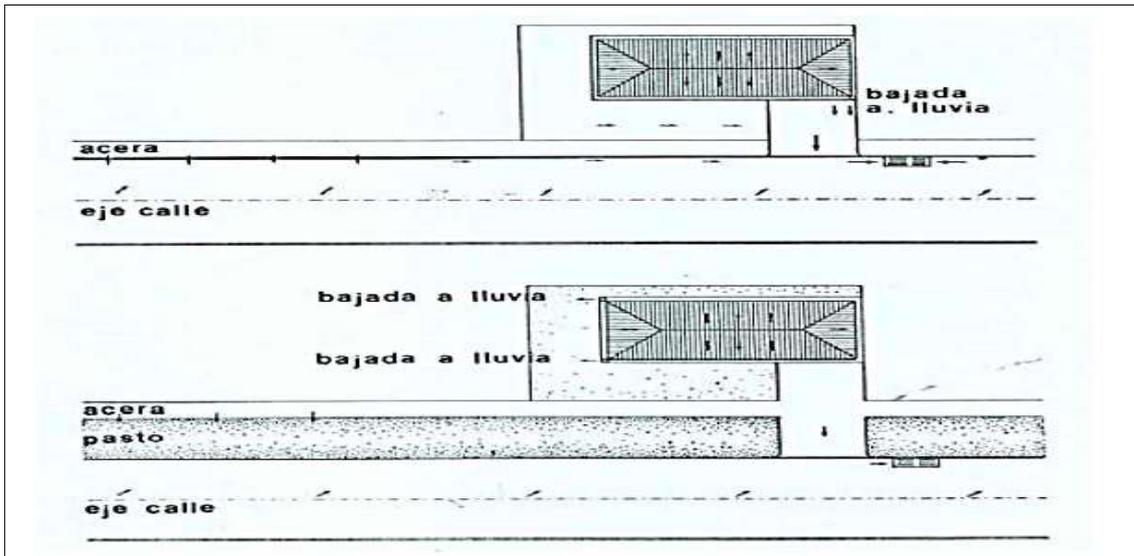
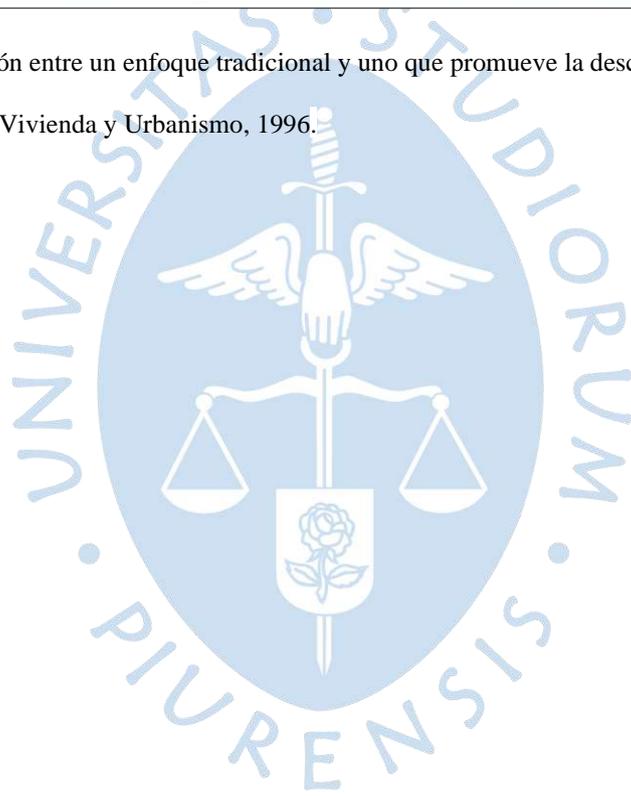


Figura 38. Comparación entre un enfoque tradicional y uno que promueve la desconexión de áreas impermeables

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996.



Capítulo 3

Estudio topográfico

3.1 Reconocimiento del área de estudio

El relieve de la ciudad de Piura y sus áreas de expansión urbana, presentan una topografía suave con pequeñas elevaciones; las mismas que están formadas por depósitos de arenas de grano medio a fino y depresiones que se constituyen en pequeñas cuencas por donde drenan las aguas durante las épocas de intensa precipitación pluvial como, por ejemplo, el Fenómeno El Niño Costero ocurrido en el 2017 (ver figura 39). Así mismo presentan áreas con depresiones, donde en periodos de intensas precipitaciones pluviales se convierten en zonas inundables (figura 40).

Desde el punto de vista de la geodinámica externa, los principales fenómenos que predominan en el área de estudio son las inundaciones en las áreas depresivas que constituyen el principal fenómeno que afecta las superficies que tienen unas variaciones de cotas desde los 32 hasta 28 m.s.n.m. aproximadamente.

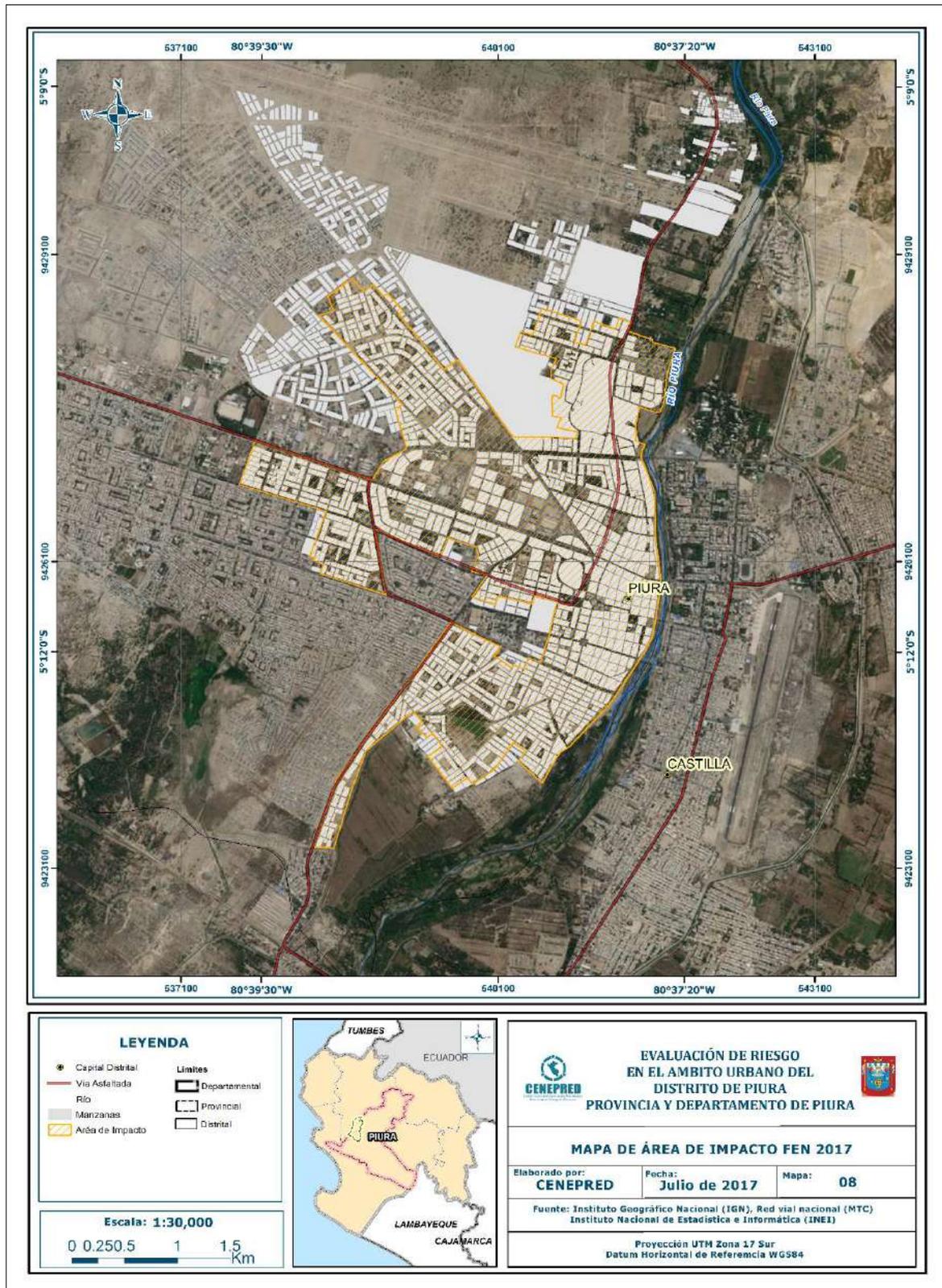


Figura 39. Mapa de área de impacto FEN
Fuente: CENEPRED³, 2017.

³ El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

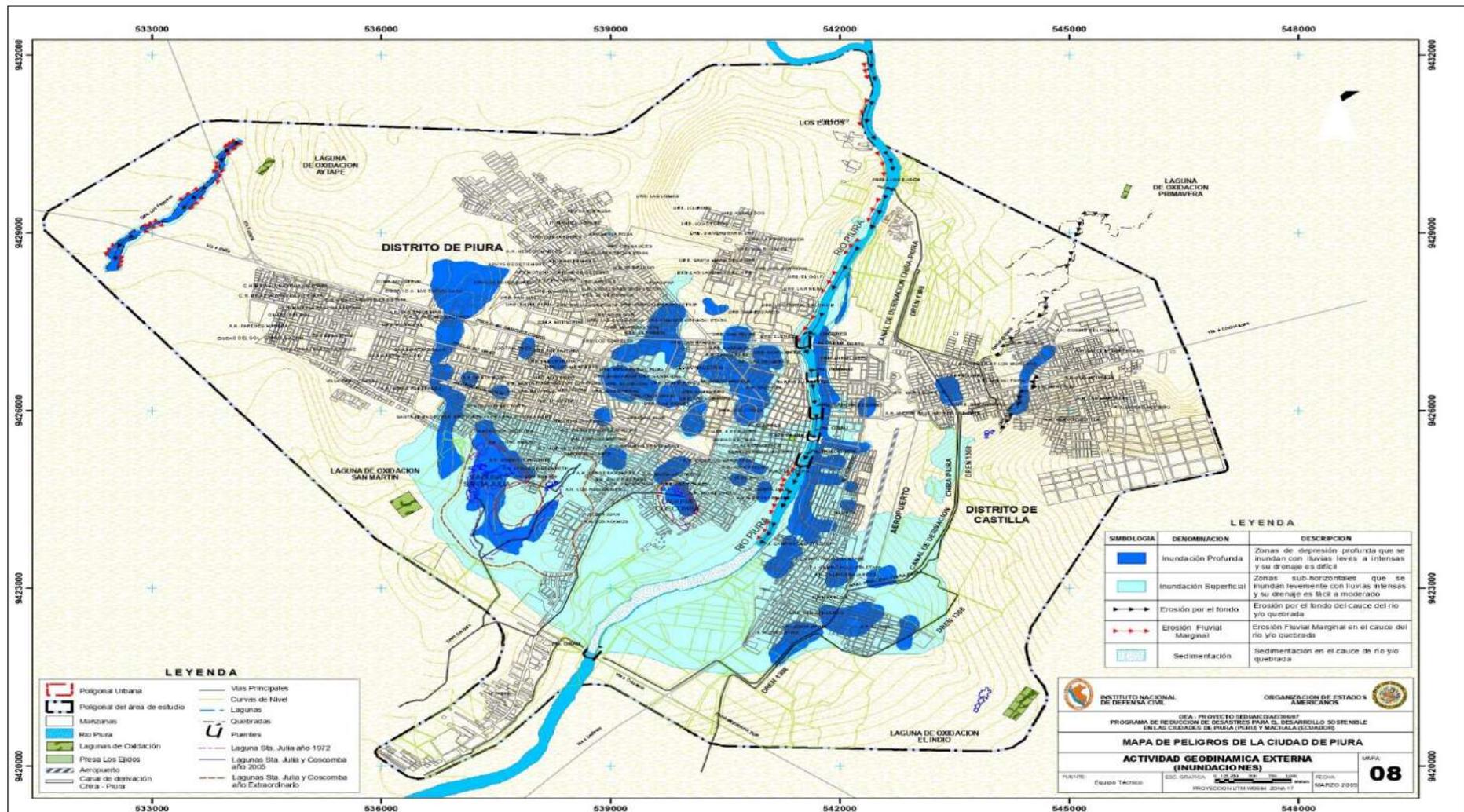


Figura 40. Mapa de peligros de la ciudad de Piura
Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil, 2009.

- Se ha identificado a la urbanización El Chilcal en un nivel de riesgo por inundación pluvial muy alto.
- Una vez identificada la urbanización El Chilcal como una zona con problemas de desfogue y vulnerable a fenómenos, se procedió a señalar la dirección y sentido del flujo superficial dentro de la cuenca de acuerdo con la topografía de esta.

3.2 Metodología de campo

Se halló el sentido y dirección del flujo superficial de cada tramo de calle, para ello se realizó una nivelación más específica encontrando las cotas respectivas de cada esquina con equipos de topografía brindados por la Universidad de Piura. Adicional a esto se tomó medidas del ancho de vía, ancho de bermas, jardineras y de las veredas.

Consideraciones:

- Si el tramo de la calle tiene solo una pendiente, es decir es un tramo regular, solo se calculará las cotas de esquina a esquina.
- Si el tramo de la calle tiene más de una pendiente, es decir es un tramo irregular, además de calcularse las cotas de esquina a esquina, se calculará la cota de dicho punto de irregularidad.
- En vías secundarias se hallará la cota en el eje de la calle.
- En vías principales, se hallará la cota en el eje de cada carril.

3.3 Nivelación topográfica

Sirve para calcular el desnivel entre dos puntos. También se define como el procedimiento que sirve para hallar la diferencia de alturas de puntos de la superficie terrestre con respecto a un plano horizontal de comparación u superficie de referencia.

La nivelación como todos los trabajos topográficos se puede realizar por diversos procedimientos y de distintos grados de precisión, dependiendo del instrumental que se utilice y de los métodos que se usen.

3.3.1 Clases de nivelación

3.3.1.1 Nivelación simple. Se utiliza para calcular la cota de uno o más puntos del terreno por medio de una sola estación instrumental; es decir, el desnivel a medir se determina con una única observación (Instituto Geográfico Nacional, 2016).

3.3.1.2 Nivelación compuesta. Cuando se requiere nivelar más de 2 puntos, se considera más de una posición instrumental, o cuando no se puede emplear una nivelación simple o diferencial, debido a la disposición del terreno o a la presencia de obstáculos, lo que no permite fijar puntos de cambio distanciados entre sí, se tiene que recurrir por nivelación geométrica compuesta, la que consiste en repeticiones de nivelaciones geométricas simples, formando una línea de nivelación (Instituto Geográfico Nacional, 2016).

3.3.1.3 Nivelación abierta y cerrada. Este tipo de nivelación se utiliza cuando se requiere una nivelación donde no vamos a volver a tomar la lectura del punto de inicio, en general este tipo de nivelación se realiza cuando hay un BM de inicio conocido o BM final conocido. En el caso de la nivelación cerrada es lo contrario porque nivelamos de ida y vuelta hasta volver a tomar la lectura de nuestro punto de inicio (Instituto Geográfico Nacional, 2016).

3.3.2 Tipos de errores suscitados en una nivelación

3.3.2.1 Error de esfericidad. Este tipo de error surge cuando se considera como plano de comparación una superficie plana horizontal; es decir, tangente al esferoide de revolución en el punto de estación del instrumento (ver figura 41).

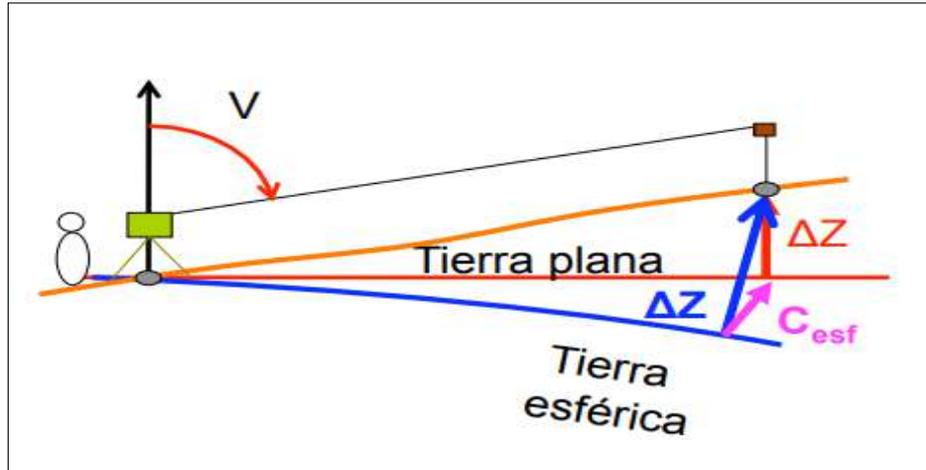


Figura 41. Error de esfericidad
Fuente: Sánchez & Pereda, 2013.

3.3.2.2 Error de refracción. Se produce como consecuencia de la desviación que sufre la visual (rayos de luz) debido a la refracción atmosférica (ver figura 42).

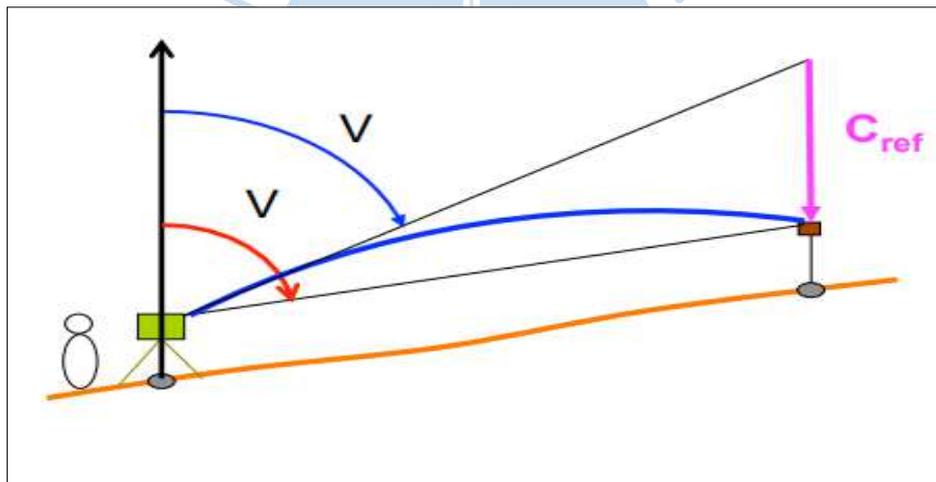


Figura 42 Error de refracción.
Fuente: (Sánchez & Pereda, 2013).

3.4 Trabajo de gabinete

Con los datos obtenidos en campo se realizó los siguientes cuadros para poder hallar las cotas de cada punto teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

Se ha tomado como punto de BM el punto "C", con una cota de 27.957 m.s.n.m.

$$COTA_{PTO\ OBSERVADO} = COTA_{PTO\ OBSERVADOR} + H_{instrumento} - Pm \quad (3.1)$$

Adicionalmente se tomaron medidas del ancho de vía, además de las distancias horizontales y las pendientes entre puntos, tal como se muestran en la tabla de apéndice A.

Empleando la fórmula 3.1 se calculó todas las cotas de los puntos pertenecientes a la cuenca (ver figura 43) y así mismo se procedió a calcular el sentido del flujo de agua (ver figura 44).

Finalmente, analizando los flujos, se determinaron 7 sub cuencas que se pueden apreciar en la figura 45.



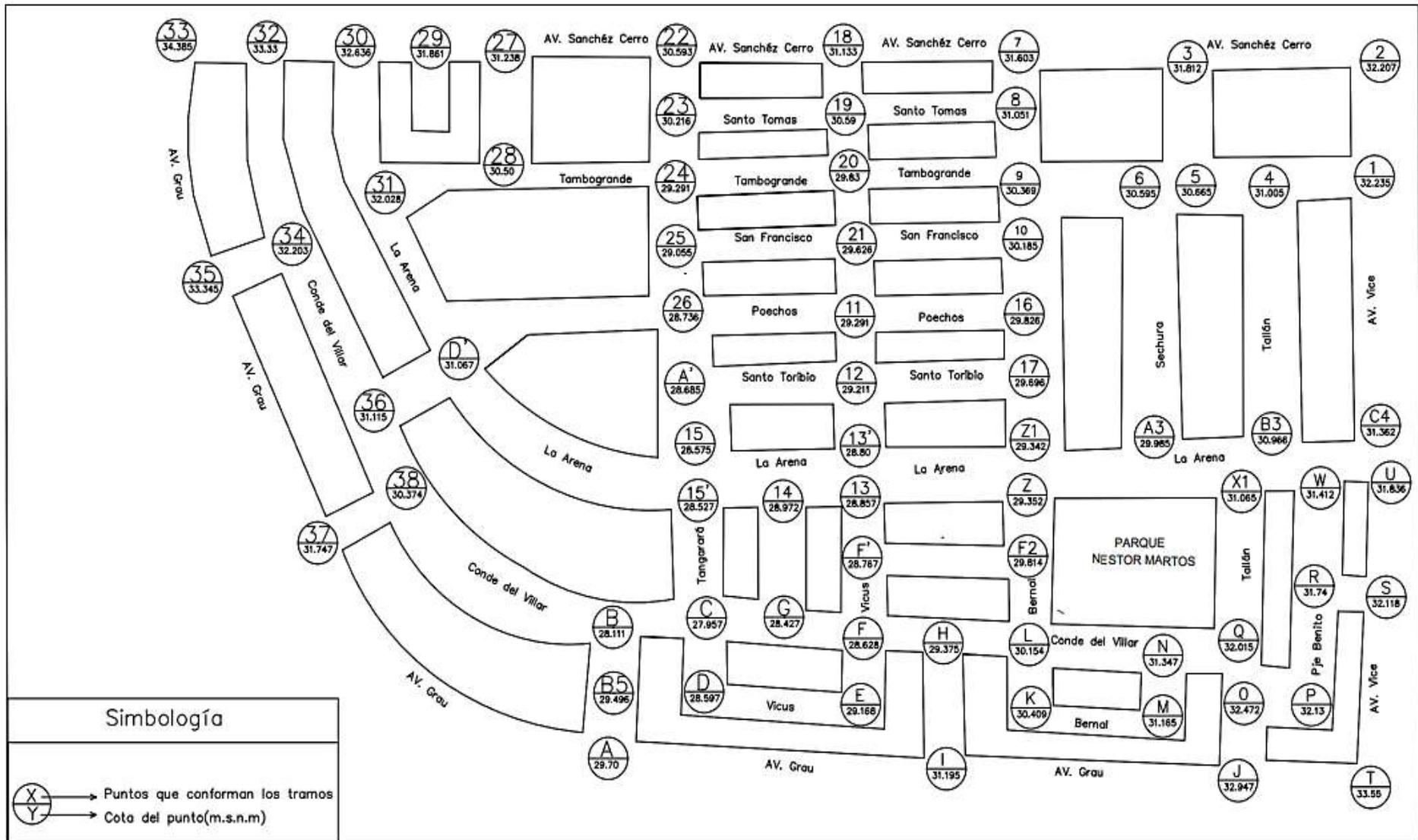


Figura 43. Cota de los puntos nivelados
 Fuente: Elaboración propia.

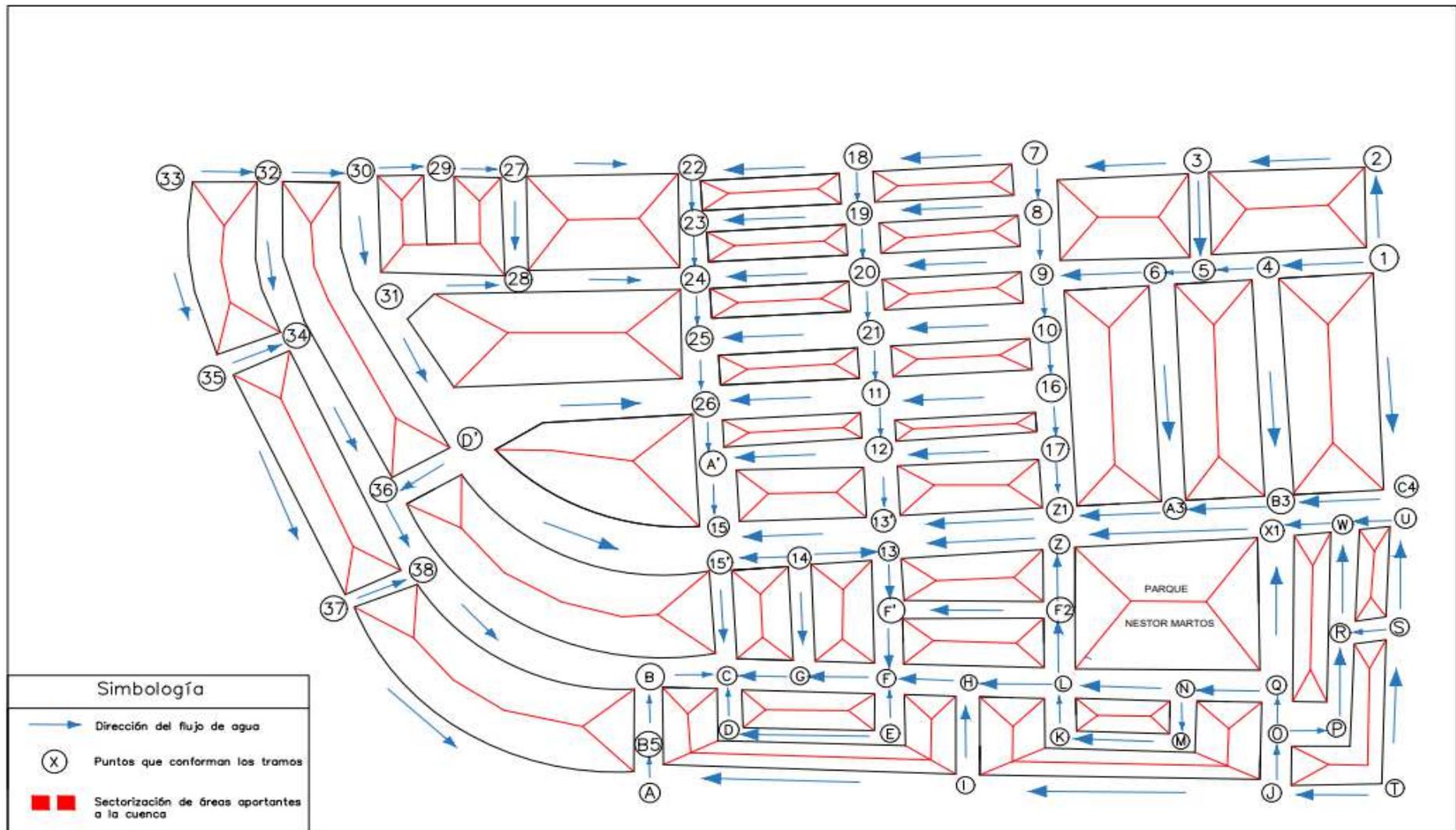


Figura 44. Dirección y sentido de los caudales de escorrentía dentro de la cuenca El Chilcal
 Fuente: Elaboración propia.

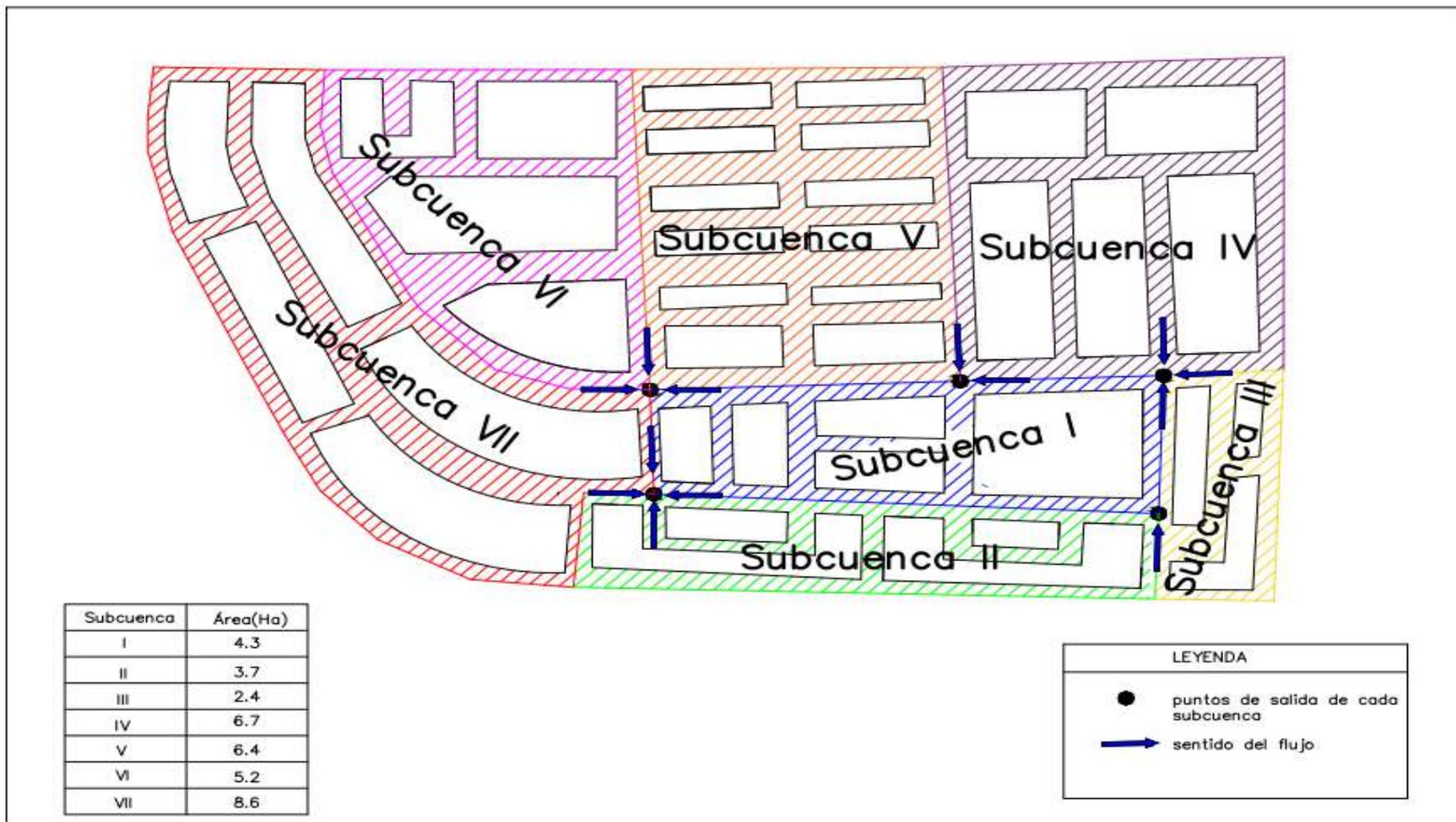


Figura 45. Subdivisión de la cuenca El Chilcal
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4

Análisis hidrológico

En este capítulo se desarrollan los dos principales métodos para el cálculo de los caudales de escorrentía: el método racional y el método del hidrograma unitario. Mediante el método racional se calcula el caudal de cada tramo de calle, que pertenecen a todas las subcuencas, para el final poder diseñar las cunetas y tuberías con los caudales de escorrentía acumulativos calculados en el punto más bajo de la cuenca. Con el método del hidrograma unitario se obtiene el hidrograma de la tormenta de diseño, con el cual podemos calcular el volumen de agua de lluvia que se genera en función del tiempo y así poder seleccionar las bombas hidráulicas.

4.1 Método racional

El método racional es uno de los métodos más empleados para calcular el caudal máximo asociado a determinada lluvia de diseño. Se utiliza con frecuencia para el diseño de obras de drenaje tanto urbano como rural y tiene la ventaja de no necesitar datos hidrológicos complejos para el cálculo de estos caudales máximos (Tutoriales al día, 2010).

La expresión utilizada por el método racional para obtener el caudal pico asociada a determinada precipitación está conformada por:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360} \quad (4.1)$$

Q= Caudal (m³/s)

C= coeficiente de escorrentía

I= intensidad (mm/h)

A= área de drenaje (ha)

Se debe tener en cuenta las siguientes condiciones para el empleo del método racional (Tutoriales al día, s.f.):

- La lluvia es uniforme en el tiempo, es decir de intensidad constante lo cual es solo cierto cuando la duración de la lluvia es muy corta en el caso de cuencas urbanas vale decir que esta limitación si se quiere no es de mayor consideración pues por lo general se habla de lluvias de pequeña duración de 5, 10, 30 minutos para los efectos del diseño.
- La lluvia es constante en toda el área de la cuenca en estudio, lo cual es parcialmente permitido si la extensión de esta es muy pequeña, esto también es el caso de las cuencas urbanas en donde rara vez se exceden extensiones de terrenos superiores a 50 hectáreas, es decir, estamos ante cuencas si se quiere pequeñas para los efectos del estudio.
- La escorrentía es directamente proporcional a la precipitación, en la realidad esto no es cierto del todo pues la escorrentía depende también de muchos otros factores por ejemplo de las condiciones de humedad del suelo antes de la ocurrencia de la lluvia entre otros factores.
- Se ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, en los cauces naturales o artificiales y otros elementos.
- Asume que el periodo de retorno de la precipitación es igual al de la escorrentía.

Las últimas 3 limitaciones si bien son un problema en el caso de cuencas rurales, cuencas que no han sido intervenidas no lo son tanto en cuencas urbanas en los que los factores como la humedad antecedente del suelo no son críticos en el análisis, pues la mayor parte del área esta impermeabilizada por efecto de la misma urbanización como es la construcción de pavimentos, viviendas, etc.

4.1.1 Área de drenaje

Según la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano, el área de drenaje debe cumplir las siguientes consideraciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- a) Se debe calcular el tamaño y la forma de la cuenca o sub cuenca bajo consideración utilizando mapas topográficos actualizados. Se debe emplear intervalos entre las curvas de nivel lo suficientemente adecuados para que se pueda distinguir el flujo superficial.
- b) Se debe calcular el área de drenaje que aporta al sistema que se está diseñando y las sub áreas de drenaje que contribuyen a cada uno de los puntos de ingreso a los ductos y canalizaciones del sistema de drenaje.
- c) El esquema de la divisoria del drenaje debe seguir las fronteras reales de la cuenca, y de ninguna manera las fronteras comerciales de los terrenos que se utilizan en el diseño de los alcantarillados de desagües.
- d) Para poder trazar la divisoria del drenaje se deberá tener en cuenta las pendientes de los pavimentos, la ubicación de conductos subterráneos y parques pavimentados y no pavimentados, la calidad de pastos, céspedes y demás características introducidas por la urbanización.

4.1.1.1 Área aportante de techos. El área tributaria también involucra el área de techos, debido a que toda el agua que cae en los techos de las viviendas se suma al caudal de las calles, aumentando este valor.

Se debe tener en cuenta que no existe una regla o método que nos restrinja la definición del área. Para definir el área de techo se dividió el área total de cada manzana en 4 partes para poder distribuir adecuadamente, en este caso, el área que afectará a cada avenida, tal y como se muestran en las figuras 46,47 y 48.



Figura 46. División en manzanas rectangulares
Fuente: Google maps, s.f.



Figura 47. División en manzanas en forma de U.
Fuente: Google maps, s.f.



Figura 48. División para parque de forma irregular.
Fuente: Google maps, s.f.

En la figura 49 se muestra la división de las áreas tributarias de cada manzana dentro de la cuenca El Chilcal.

Una vez de haber recopilado esta información se empieza a sumar para hallar el área total por calle:

$$A_{TOTAL} = A_{CALZADA} + A_{VEREDA} + A_{BERMA} + A_{TECHO} + A_{JARDINES} \quad (4.2)$$

En la tabla del apéndice B.1 se detalla el área de drenaje aportante de cada tramo de las calles.

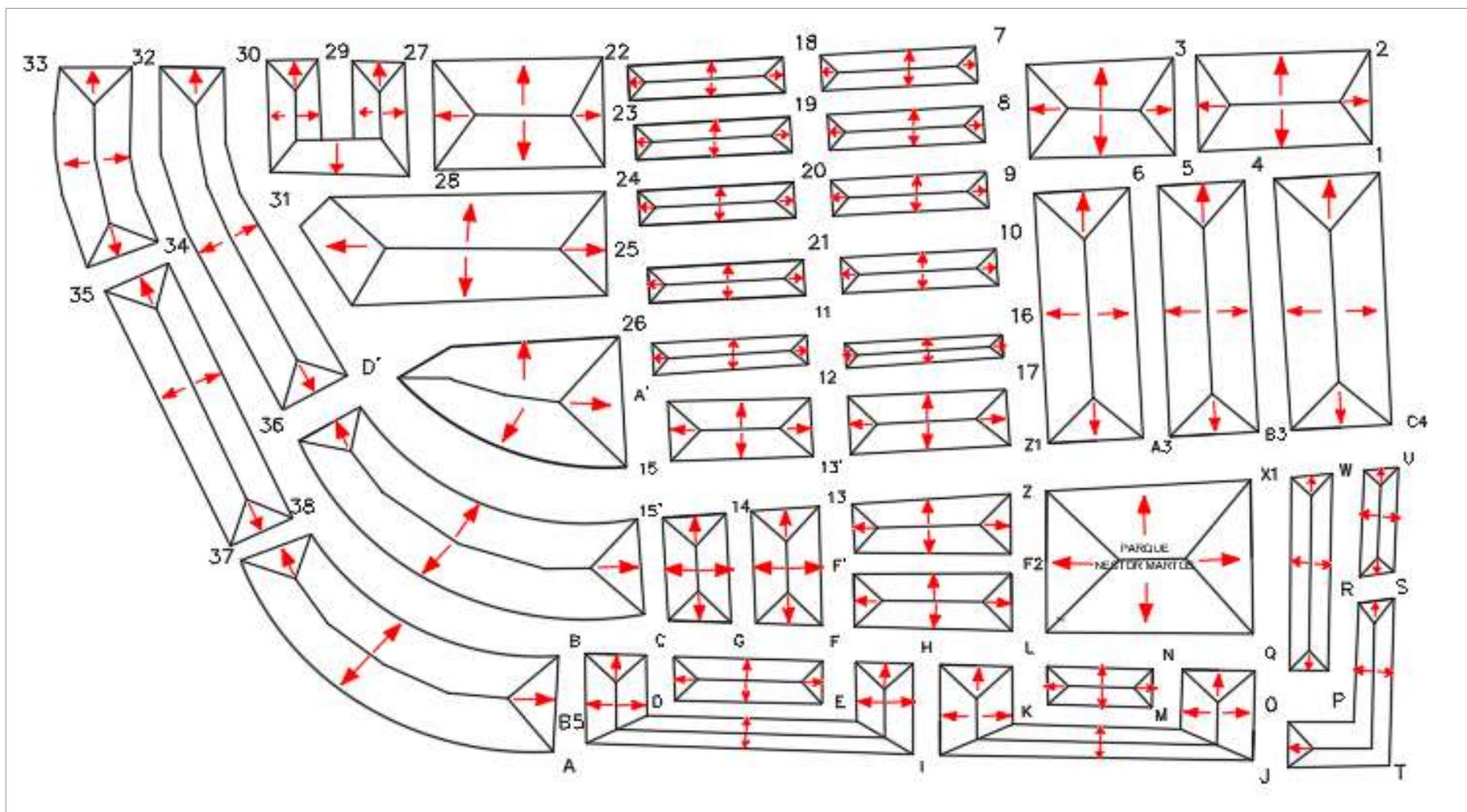


Figura 49. Área tributaria de los techos dentro de la cuenca El Chilcal
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Área tributaria acumulativa. Como se ha mencionado anteriormente, la solución que se busca en este proyecto es distinta a la forma tradicional en donde los flujos superficiales se captan antes de los pasos peatonales en cunetas para posteriormente ser introducidos en tubos enterrados. Debido a la topografía de la cuenca El Chilcal, los flujos superficiales convergen hacia el punto más bajo de la cuenca sin ninguna dificultad, por lo que solo se va dejar que los flujos superficiales sigan su propia trayectoria sin tener que ser dirigidos por tubos enterrados.

Para el cálculo de los flujos superficiales se debe conocer el área tributaria acumulativa que le llega a cada calle, para esto se debe conocer el comportamiento del flujo; es decir, se deberá conocer qué porcentaje del área de una calle va a influir en el cálculo del caudal de escorrentía de las calles convergentes. Para conocer dichos porcentajes se debe modelar y visualizar el comportamiento del caudal de escorrentía en la cuenca de estudio. Como no se tiene con un estudio de modelación en las calles, para el propósito de esta tesis se va a tomar los resultados obtenidos por Siancas (2018), donde se realiza tres modelamientos mediante los softwares de simulación numérica Telemac Mascaret 2D (comportamiento hidráulico) y Sisyphe (comportamiento sedimentológico), los cuales se muestran en las figuras 50, 51 y 52.

Si bien es cierto el modelamiento en ríos no es igual a un modelamiento en los tramos urbanos, pero se va ser un punto de referencia ya que las calles se simulan como canales abiertos.

En los 3 modelos se realiza una bifurcación a 90° pero su ancho de captación varia, tal como se muestra en la tabla 11 y en las figuras 50,51 y 52.

Tabla 11. Relación de ancho de la bifurcación a 90°

Modelo	Ancho del canal principal(B)	Ancho del canal derivador (b')	b'/B
Modelo 1	5 m	1 m	0.2
Modelo 2	5 m	2 m	0.4
Modelo 3	5 m	5 m	1.0

Fuente: Siancas, 2018.

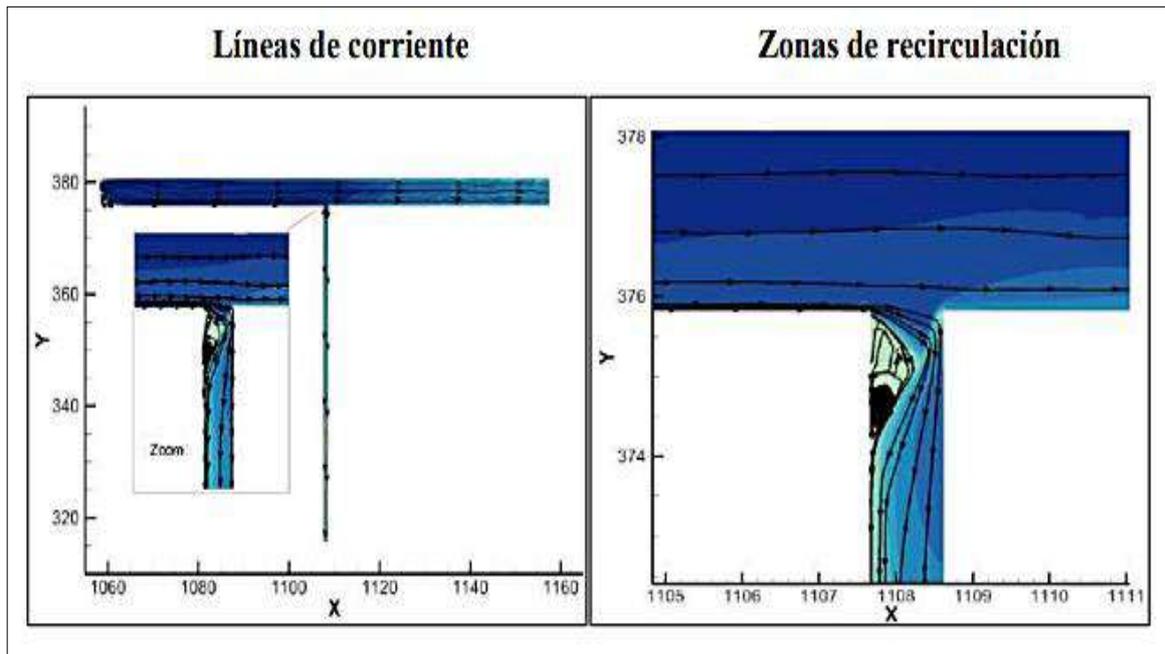


Figura 50. Modelo 1 en bifurcaciones
Fuente: Siancas, 2018.

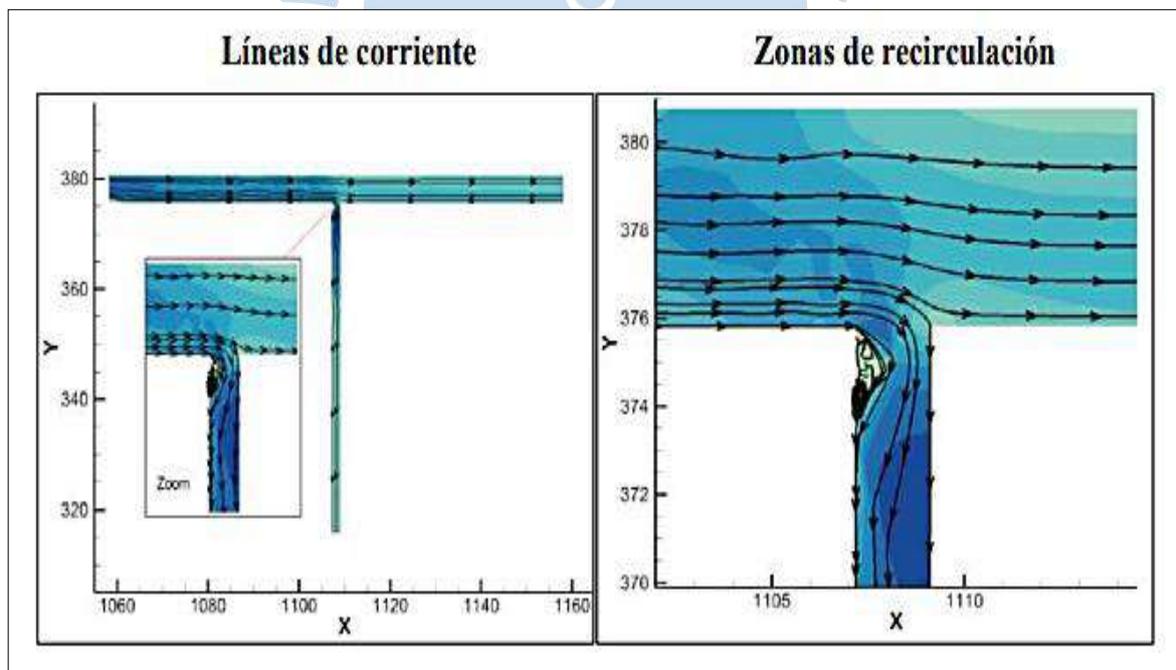


Figura 51. Modelo 2 en bifurcaciones
Fuente: Siancas, 2018.

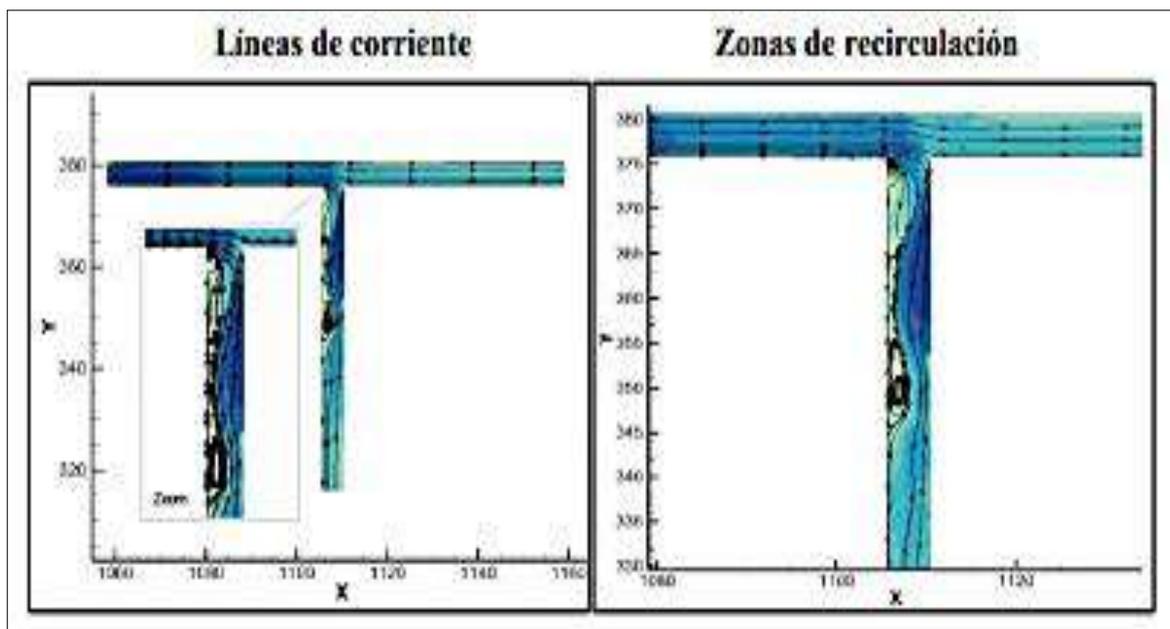


Figura 52. Modelo 3 en bifurcaciones
Fuente: Siancas, 2018.

En esta tesis se tomó los porcentajes aproximados a los calculados en el modelo 3 por ser el modelo en donde el ancho de captación se mantiene constante en todas las direcciones, tal y como se aprecia en la gran mayoría de las intersecciones de las calles de la cuenca.

El 70% del área de un tramo va ser aportado en el tramo que sigue la misma dirección y el 30% restante del área va ser aportado en el tramo perpendicular como se puede apreciar en la figura 53.

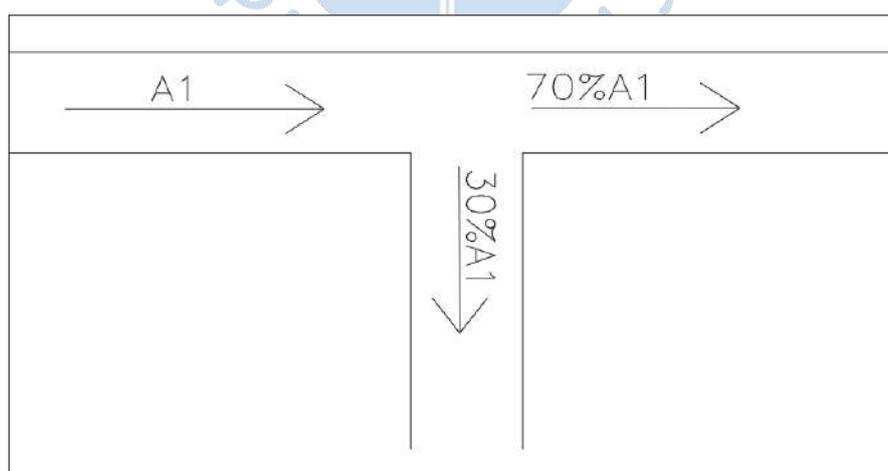


Figura 53. Distribución de porcentajes en las calles
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Coeficiente de escorrentía

No toda el agua de lluvia precipitada llega al sistema del alcantarillado; cuando llueve, parte de la lluvia del comienzo es interceptada por la cobertura vegetal y detenida superficialmente en cunetas, zanjas o depresiones (ver figura 54).

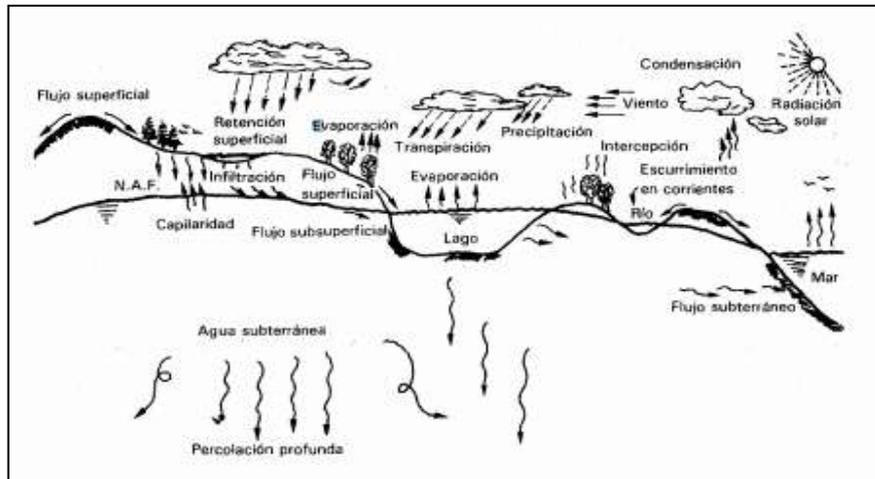


Figura 54. Escorrentía superficial
Fuente: Aparicio, 1987.

Conforme continúa la lluvia, el suelo se cubre de una delgada película de agua conocida como retención superficial y el flujo inicia pendiente abajo, dando lugar a la escorrentía superficial. Rápidamente debajo de la superficie tiene lugar la escorrentía hipodérmica, la cual, junto a la escorrentía superficial, constituyen la escorrentía total o de aportación.

De todos los procesos, el más relevante es de la infiltración, que consiste en el paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra; la percolación, en cambio, es el movimiento del agua dentro del suelo y ambos, la infiltración y la percolación, están íntimamente ligados puesto que la primera no puede continuar sino cuando tiene lugar la segunda. Así mismo, la infiltración, está en función de la impermeabilidad del terreno y es por esto que en algunos casos se le llama coeficiente de impermeabilidad.

Finalmente, el coeficiente C es un valor adimensional comprendido entre 0 y 1. Es una medida de la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía, es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación,

evapotranspiración y la intervención del hombre en el desarrollo de la ciudad, por acciones tales como la tala de árboles y la construcción de nuevos sectores residenciales y comerciales. Como puede comprenderse, el proceso de escorrentía es complejo y en la práctica deben introducirse simplificaciones.

El coeficiente de escurrimiento se obtendrá de la siguiente fórmula y los resultados se muestran en el apéndice B.2:

$$C = \frac{\Sigma(c*a)}{\Sigma a} \quad (4.3)$$

Donde:

c = Coeficiente de escorrentía de cada una de las áreas parciales

a = Áreas parciales

C = Coeficiente de escorrentía promedio

La norma OS.060 de drenaje pluvial urbano establece los siguientes criterios para la selección del coeficiente de escorrentía (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- a) La selección del valor del coeficiente de escorrentía deberá sustentarse en considerar los efectos de:
- Características de la superficie.
 - Tipo de área urbana.
 - Intensidad de la lluvia (teniendo en cuenta su tiempo de retomo).
 - Pendiente del terreno.
 - Condición futura dentro del horizonte de vida del proyecto.
- b) El diseñador puede tomar en cuenta otros efectos que considere apreciables: proximidad del nivel freático, porosidad del subsuelo, almacenamiento por depresiones del terreno, etc.

c) Las tablas 12, 13 y 14 pueden usarse para la determinación de los coeficientes de escorrentía.

d) El coeficiente de escorrentía para el caso de áreas de drenaje con condiciones heterogéneas será calculado como un promedio ponderado de los diversos coeficientes correspondientes a cada tipo de cubierta (techos, pavimentos, áreas verdes, etc.), donde el factor de ponderación es la fracción del área de cada tipo al área total.

Las siguientes tablas muestran algunos valores de coeficiente de escorrentía dependiendo de la zona o superficie a ser analizada:

Tabla 12. Coeficientes de escorrentía promedio para áreas urbanas para 5 y 10 años de periodo de retorno

Características de la superficie		Coeficiente de escorrentía
Calles		
Pavimento asfáltico		0.70 a 0.95
Pavimento de concreto		0.80 a 0.95
Pavimento de adoquines		0.70 a 0.85
Veredas		
		0.70 a 0.85
Techos y azoteas		
		0.75 a 0.95
Césped, suelo arenoso		
Pendiente plana	(0 – 2%)	0.05 a 0.10
Pendiente promedio	(2 – 7%)	0.10 a 0.15
Pendiente pronunciada	(>7%)	0.15 a 0.20
Césped, suelo arcilloso		
Pendiente plana	(0 – 2%)	0.13 a 0.17
Pendiente promedio	(2 – 7%)	0.18 a 0.22
Pendiente pronunciada	(>7%)	0.25 a 0.35
Praderas		0.2

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Tabla 13. Coeficientes de escorrentía promedio para áreas rurales (áreas no desarrolladas)

Topografía y vegetación	Tipo de suelo		
	Marga arenosa	Marga arcillosa y limosa	Arcilla densa
Bosques			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Pronunciado	0.30	0.50	0.60
Pastos			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Pronunciado	0.22	0.42	0.60
Terrenos de cultivo			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Pronunciado	0.52	0.72	0.82

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

Tabla 14. Coeficientes de escorrentía para ser utilizados en el método racional

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas Urbanas							
Asfalto	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Cemento, tejados	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)							
Pendiente baja (0-2%)	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Pendiente media (2-7%)	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente alta (>7%)	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)							
Pendiente baja (0-2%)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente media (2-7%)	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente alta (>7%)	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cobertura vegetal superior al 75% de la superficie)							
Pendiente baja (0-2%)	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Pendiente media (2-7%)	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente alta (>7%)	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

4.1.3 Periodo de retorno

Para comprender el periodo de retorno es importante definir primero el intervalo de ocurrencias τ , el cual es el tiempo entre ocurrencias del evento $X \geq X_T$. De esta forma, el periodo de retorno T de un evento $X \geq X_T$ es el valor esperado de τ : $E(\tau)$ su valor promedio medido sobre un intervalo de tiempo grande. Por consiguiente, el periodo de retomo de un evento con una magnitud dada puede definirse como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Cada año existen dos resultados posibles $X \geq X_T$ (éxito) y $X < X_T$ (fracaso). La probabilidad de éxito es $p = P(X \geq X_T)$. Si se considera un intervalo como la probabilidad de que un evento sea superado, el inverso es el periodo (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Es decir que:

$$E(\tau) = \frac{1}{p} = T \quad (4.4)$$

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2011) el periodo de retorno es “el tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años” (p.23).

Bateman (2007) explica lo siguiente: Por empirismo y experiencia que cuando una lluvia es intensa su duración es baja, en cambio cuando la lluvia es de baja intensidad su duración es más prolongada. Es decir que ambas variables se relacionan forma inversa. Por otro lado, la intensidad de una lluvia es mayor cuando se tiene un mayor periodo de retorno; es decir, cuando el intervalo escogido es cada vez mayor (p.37).

Una expresión que representa este empirismo se escribe de la manera siguiente:

$$i = \frac{k T^m}{(d+c)^n} \quad (4.5)$$

Donde:

i = Intensidad de lluvia (mm/hr)

T = Periodo de retorno (años)

d = duración (min)

k, m, n y c = Constantes

La norma OS.060 de drenaje pluvial urbano menciona los siguientes puntos que se deben seguir para la elección del periodo de retorno (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- a) El sistema de drenaje menor deberá ser diseñado para un periodo de retorno entre 2 y 10 años. El periodo de retorno está en función de la importancia económica de la urbanización, correspondiendo 2 años a pueblos pequeños.
- b) El sistema de drenaje mayor deberá ser diseñado para un periodo de retorno que no sea menor de 25 años.
- c) El diseñador podrá proponer periodos de retorno mayores a los mencionados según su criterio le indique que hay mérito para postular un mayor margen de seguridad debido al valor económico o estratégico de la propiedad a proteger.

4.1.4 Tiempo de concentración

Algunas zonas tienen una captación que está hidráulicamente más cerca para descargar a un punto que otras. En otras palabras, en un lugar puede empezar a llover ahora, pero se podría tardar algunos minutos u horas antes de que el agua llegue al punto de descarga.

El tiempo de concentración se define como aquel tiempo mínimo que se necesita para que todos los puntos de una cuenca aporten agua de escorrentía de manera simultánea al punto de desagüe.

Cuando toda la cuenca está contribuyendo al flujo en su salida, se presenta el máximo escurrimiento en el tiempo de concentración “ t_c ”. El tiempo de concentración “ t_c ” es el tiempo que se requiere por una gota de agua para fluir desde el punto más lejano de la cuenca hasta el punto de descarga de la cuenca. Por lo tanto, este valor lo determina el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca, el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado; es decir, el recorrido más largo (ver figura 55). Y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es máximo.

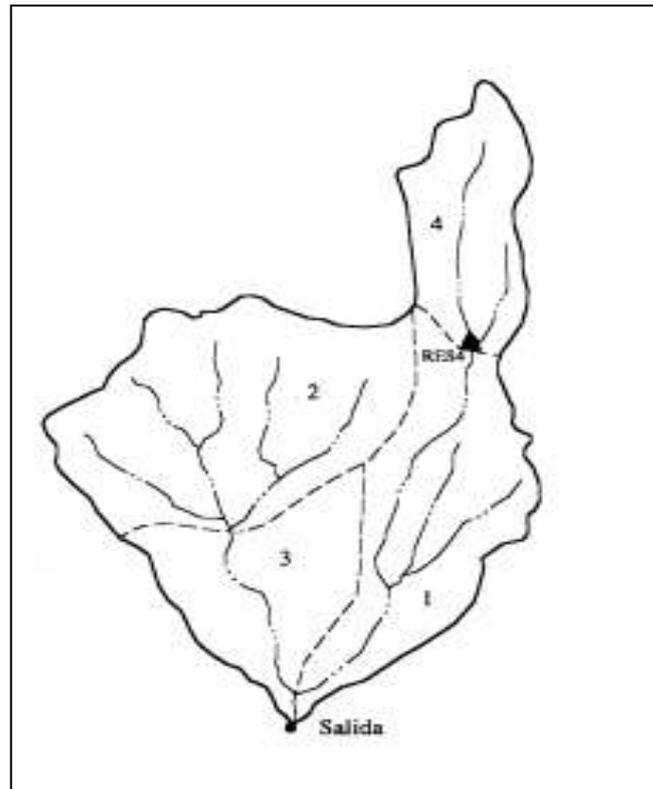


Figura 55. Esquema de la cuenca de un río
Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1994.

Conocer este valor es de gran importancia para los modelos de lluvia – escorrentía, ya que la duración de lluvia se asumirá igual al tiempo de concentración de la cuenca, para los cuales se espera se presenten los caudales máximos.

Hay distintas fórmulas para poder determinar este tiempo, como las que se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Método y fecha	Fórmula para t_c (minutos)	Observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$ <p>L= longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida. m. S= pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	<p>Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.</p>
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L= longitud del curso del agua más largo, m. H= diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>	<p>Esencialmente es la ecuación de Kirpich, desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.</p>
Izar (1946)	$t_c = \frac{525 \cdot (0.0000276 \cdot i + c) \cdot L^{0.33}}{S^{0.333} \cdot i^{0.667}}$ <p>i= intensidad de lluvia, mm/h c= coeficiente de retardo L=longitud de la trayectoria, m. S= pendiente de trayectoria de flujo, m/m.</p>	<p>Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Publica Rosad, para flujo superficial en caminos y áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800.</p>
Federal Aviación Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C) \cdot L^{0.50}}{S^{0.333}}$ <p>C= coeficiente de escorrentía del método racional. L= longitud de flujo superficial, m. S= pendiente de la superficie</p>	<p>Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado en cuencas urbanas.</p>

Método y fecha	Fórmula para t_c (minutos)	Observaciones
Ecuaciones de onda cinemática Márgala y Finley (1965) Aron y Erborge (1973)	$t_c = \frac{7 \cdot L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{I^{0.4} \cdot S^{0.3}}$ <p>L= longitud del flujo superficial, m. n= coeficiente de rugosidad de manning. I= intensidad de lluvia mm/h. S= pendiente de la superficie m/m</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS(1973)	$t_c = \frac{0.0136 \cdot L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ <p>L= longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m. CN= Número de curva SCS S= pendiente promedio de la cuenca, m/m.</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencias a la sobreestimación; se aplicarán factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67 \times$ retardo de la cuenca

Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1994.

4.1.5 Información pluviométrica

Al atender la norma OS. 060 de drenaje pluvial urbano, se indica que cuando el estudio hidrológico requiera la determinación de las curvas intensidad - duración - frecuencia (IDF) representativas del lugar del estudio, se procederá de la siguiente manera (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- a) Al focalizar la zona de estudio que se encuentra en una estación pluviográfica, será directamente usada la curva IDF que pertenece a esa estación.
- b) Al existir información pluviométrica en la zona de estudio, se encontrará la distribución de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas de dicha estación y, luego junto con la utilización de la información de la estación pluviográfica más cercana, se estimarán las precipitaciones para duraciones menores de 24 horas y para el período de

retorno que se requieran. La intensidad requerida quedará dada por $I(t,T) = P(t,T)/t$, donde $I(t,T)$ es la intensidad para una duración t y periodo de retorno T requeridos; y $P(t,T)$ es la precipitación para las mismas condiciones.

- c) En consideración al método alternativo para este último caso pueden utilizarse curvas IDF definidas por un estudio regional.
- d) Si el método racional requiere de intensidades de lluvia menores de una hora, debe asegurarse que la curva o relación IDF sea válida para esa condición.

4.1.6 Intensidad de lluvia

La intensidad de lluvia se define como la altura de lluvia acumulada por unidad de tiempo. En otras palabras, es la relación entre la precipitación y el tiempo, aunque usualmente se refiere a un instante, suele representarse en mm/hora.

Esta medida determina qué tan intenso está lloviendo. A mayor intensidad, la lluvia es más energética. Podemos tener una idea de cuánto podría llover, pero se debe tener en cuenta que para cualquier lluvia mientras más corto es la duración mayor será la magnitud de la intensidad de lluvia, y suponiendo que en una zona llueve una cantidad fija de agua, conforme mayor sea el tiempo de duración menor será la intensidad de lluvia.

Haciendo uso del método racional, se puede conocer el valor de la intensidad de lluvia, teniendo como dato el tiempo de concentración, el cual, para este proyecto resulta de usar la fórmula de Kirpich. Conociendo el valor de T_c , se procede a reemplazar en la siguiente fórmula 4.6 para obtener el valor de la intensidad de lluvia en mm/h (Ruiz & Farias, 2018):

$$I_{25} \left(\frac{mm}{h} \right) = \frac{(2327 * \ln Tr) - 2085}{(t_c + 75)^{0.912}} \quad (4.6)$$

Donde:

Tr (años) = periodo de retorno

T_c (min) = tiempo de concentración

Para la determinación de la fórmula 4.6, se tomó en cuenta los siguientes puntos (Farias & Ruiz, 2018):

- Información histórica de lluvias de 45 años entre las estaciones meteorológicas Miraflores y Universidad de Piura, por ser las más representativas de la zona.
- De los diversos modelos ajustados a las series de intensidades, los que presentaron mejor ajuste fueron el modelo Log Normal de tres parámetros y el modelo Doble Gumbel.
- Al observar que ambos tipos de modelo arrojan valores relativamente semejantes, se decidió promediar sus predicciones para formar una única matriz de intensidades, que permitió graficar las curvas IDF requeridas, así como se puede apreciar en la figura 56.
- Se procedió a asignar un valor común a b , tomando el promedio de los valores hallados para cada periodo de retorno. Así, se llegó a establecer $b = 75$, y con este valor único de b se recalcularon los valores de c para cada periodo de retorno. Con el mismo criterio, se estableció un único valor de c con el promedio de los nuevos valores, obteniendo como resultado $c = 0.912$. Con los valores únicos establecidos de $b = 75$ y $c = 0.912$ para todos los periodos de retorno, para finalmente la ecuación quedar expresada tal como la ecuación 4.6

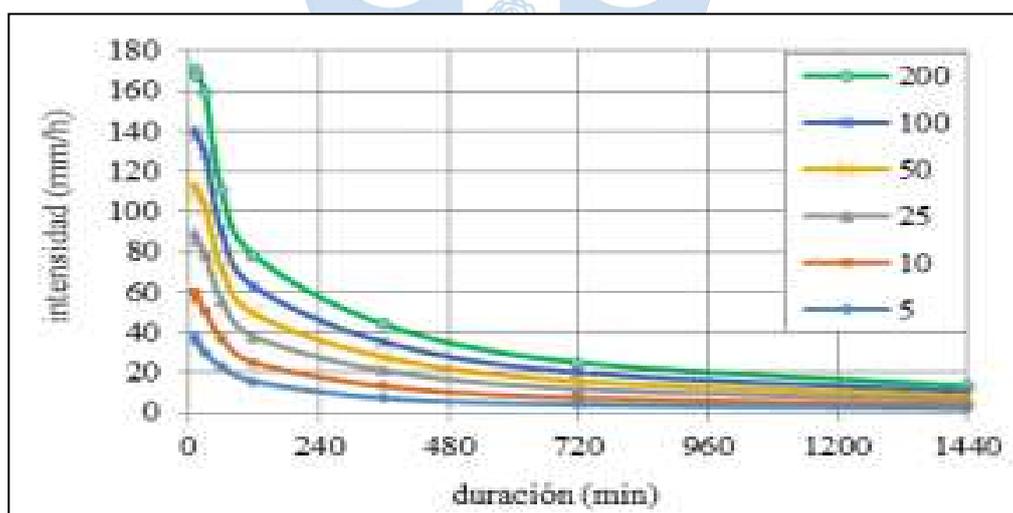


Figura 56. Curvas IDF para la ciudad de Piura (1983-2017)
Fuente: Farias & Ruiz, 2018.

Atendiendo la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano se deben seguir los siguientes apartados para la determinación del tiempo de concentración (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- a) La intensidad de la lluvia de diseño para un determinado punto del sistema de drenaje es la intensidad promedio de una lluvia cuya duración es igual al tiempo de concentración del área que se drena hasta ese punto, y cuyo periodo de retorno es igual al del diseño de la obra de drenaje. Es decir que para determinarla usando la curva intensidad - duración - frecuencia (IDF) aplicable a la zona urbana del estudio, se usa una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, y la frecuencia igual al recíproco del periodo de retorno del diseño de la obra de drenaje.
- b) La ruta de un flujo hasta un punto del sistema de drenaje está constituida por:
- La parte donde el flujo fluye superficialmente desde el punto más remoto del terreno hasta su punto de ingreso al sistema de ductos y/o canalizaciones.
 - La parte donde el flujo fluye dentro del sistema de ductos y/o canalizaciones desde la entrada en él hasta el punto de interés.
- c) En correspondencia los tramos en que discurre el flujo, enunciado en el párrafo anterior, el tiempo de concentración a lo largo de una ruta hasta un punto del sistema de drenaje es la suma de:
- El tiempo de ingreso al sistema de ductos y canalizaciones, t_o .
 - El tiempo de viaje dentro de alcantarillas y canalizaciones desde la entrada hasta el punto, t_v . Siendo el tiempo de concentración a lo largo de una ruta hasta el punto de interés es la suma de:

$$t_c = t_o + t_v \quad (4.7)$$

- d) El tiempo de ingreso, t_o , puede obtenerse mediante observaciones experimentales de campo o por medio de tablas.

- e) La ecuación correcta para evaluar t_0 será definida según ésta sea la adecuada al tipo de escorrentía superficial que se presente en cada subcuenca. Los tipos que pueden presentarse son el predominio de flujos superficiales tipo lámina o el predominio de flujos concentrados en correnteras, o un régimen mixto.
- f) En ningún caso el tiempo de concentración debe ser inferior a 10 minutos.
- g) EL tiempo de viaje t_v , dentro de la tubería, está dado por la ecuación:

$$t_v = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (4.8)$$

Donde:

L_i = Longitud del i-ésimo conducción (ducto o canal) a lo largo de la trayectoria del flujo

V_i = Velocidad del flujo en el ducto o canalización.

- h) En cualquier punto de ingreso al sistema de ductos y canalizaciones, al menos una ruta sólo tiene tiempo de ingreso al sistema de ductos, t_0 . Si hay otras rutas estas tienen los dos tipos de tiempos t_0 y t_v .
- i) El tiempo de concentración del área que se drena hasta un punto de interés en el sistema de drenaje es el mayor tiempo de concentración entre todas las diferentes rutas que puedan tomar los diversos flujos que llegan a dicho punto.

Vamos a trabajar el tramo 1 - 2 para demostrar cual ha sido el proceso que se ha trabajado para encontrar los caudales de escorrentía.

Datos:

- Dimensión transversal: 3 m
- Dimensión longitudinal: 91 m
- Pendiente transversal: 2%

- Pendiente longitudinal: 0.03%
- Área tributaria de la calle: **1870.9** m²
- Coeficiente de Manning: 0.013, para el caso de pavimentos rígidos.
- Relación hidráulica (y/D): 0.85 (relación máxima entre lámina de agua y diámetro de conducto). Valor mostrado en relaciones hidráulicas de sistema separativo, conductos pluviales, utilizando la referencia (White, 2004).

1. Se calculó tiempo de entrada hasta la cuneta a partir de la fórmula de Kirpich (Chow, Maidment & Mays, 1994):

$$t_0 = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (4.9)$$

Dónde:

L = Ancho del carril (m).

S = Pendiente transversal (%).

t₀ = tiempo de entrada hasta la cuneta (minutos)

$$t_0 = 0.0195 \frac{3^{0.77}}{0.02^{0.385}} = 0.205 \text{ min.}$$

Para el cálculo del tiempo de traslación se va asumir una velocidad, donde al final con el cálculo del diámetro de la tubería se vuelve a calcular la velocidad y se debe verificar que la velocidad obtenida debe ser muy cercana a la velocidad asumida en un inicio, caso contrario se vuelve a reiterar el proceso asumiendo nuevamente una velocidad igual a la calculada en el anterior proceso.

2. Asumiendo una velocidad de 1 m/s y usando la fórmula 4.8 para encontrar un valor de tiempo de traslación:

$$t_v = \frac{L}{V_1}$$

$$t_v = \frac{91}{1} = 1.517 \text{ min}$$

3. Luego se calcula el tiempo de concentración haciendo uso de la fórmula 4.7.

$$t_c = t_0 + t_v$$

$$t_c = 0.205 + 1.517 = 1.722 \text{ min}$$

El tiempo de concentración (t_c) no debe ser menor de 10 minutos, entonces se considerará esta duración, $t_c(\text{mínimo}) = 10 \text{ min}$ (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

4. Para el cálculo de la intensidad se ha empleado la fórmula 4.6

Se ha trabajado con un periodo de retorno(tr) igual a 25 años para tormentas grandes:

$$I_{25} \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = \frac{(2327 * \ln Tr) - 2085}{(t_c + 75)^{0.912}}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$I_{25} = 94.01 \text{ mm/h}$$

5. Aplicando la fórmula racional (formula 4.1):

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

Donde $C=0.79$ (valor que se detalla en la tabla del apéndice B.2)

$$Q = \frac{0.79 * 94.01 * 0.018709}{360} = 0.039 \frac{m^3}{s}$$

6. Se inicia con la derivación del diámetro a raíz de la expresión de Manning para un conducto circular, tal y como se muestra a continuación:

A partir de la Figura 57, donde: tirante (y), diámetro del conducto (D), ángulos (θ, α) y longitud de arco (S).

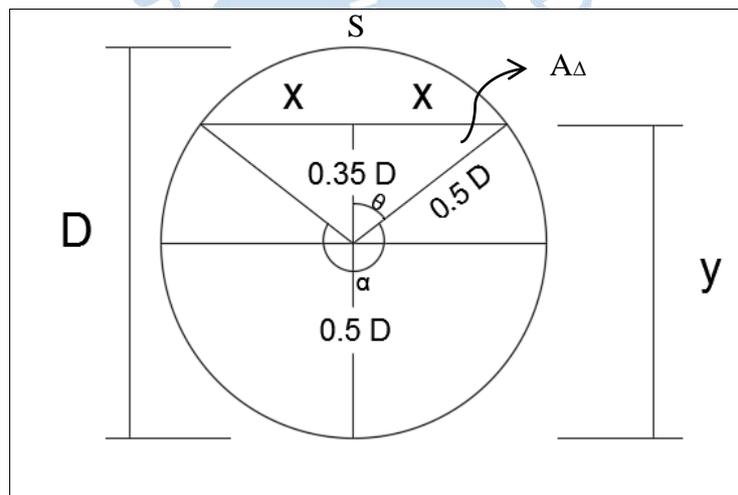


Figura 57. Variables hidráulicas en conducto circular
Fuente: Hernández, 2018.

Ya mencionada la relación máxima entre la lámina de agua y diámetro del conducto ($y/D= 0.85$), se tiene:

$$\cos \theta = \frac{0.35 D}{0.5 D} \rightarrow \theta = 45.573^\circ, \therefore \alpha = 360^\circ - 2\theta \rightarrow \alpha = 268.854^\circ$$

$$\sin \theta = \frac{X}{0.5 D}$$

$$0.5 D \times \sin 45.57^\circ = X \quad 0.3571 D = X$$

Teniendo expresada la cuerda de la circunferencia (2X) en función del diámetro, se puede hallar el área transversal de flujo en la tubería:

$$A_T = A_{\text{sector circular}} + A_{\text{Triángulo}} = A_S + A_{\Delta}$$

$$A_T = \frac{1}{2} (0.5D)^2 \times 268.854^\circ \times \frac{2\pi}{360^\circ} + \frac{2(0.3571D)(0.35D)}{2}$$

$$A_T = 0.5865484D^2 + 0.12495D^2$$

$$A_T = 0.7115D^2$$

Ahora calculamos el radio hidráulico:

Donde:

A = área transversal al flujo (m²).

P = perímetro mojado (m).

El área transversal es $A_T = 0.7115D^2$ y el perímetro mojado es igual a la longitud de arco del sector circular (S):

$$P = S = \alpha \times r$$

Donde:

α = Ángulo del sector circular (radianes).

r = Radio del conducto (m).

Entonces:

$$R_H = \frac{0.7115D^2}{\frac{\pi}{180^\circ} \times 268.854^\circ \times (0.5D)} = 0.3033 D \quad (4.10)$$

7. Reemplazando el valor de R_H en la ecuación de Manning y despejando la variable diámetro del conducto se obtiene la expresión 4.12:

$$V = \frac{1}{n} (R_H)^{\frac{2}{3}} x (s)^{\frac{1}{2}} \quad (4.11)$$

$$V = \frac{1}{n} (0.3033D)^{\frac{2}{3}} x s^{\frac{1}{2}}$$

$$D = \left(\frac{V * n}{0.4514 * s^{0.5}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (4.12)$$

Donde:

V: velocidad (m/s).

n: coeficiente de rugosidad, valor adimensional.

s: pendiente longitudinal, valor adimensional.

8. Una vez conociendo el caudal, obtenido por el método racional, se va igualar al caudal de las expresiones obtenidas por las relaciones hidráulicas y parámetros que depende del conducto de evacuación.

$$Q = V \times A$$

$$Q = \frac{1}{n} (R_H)^{\frac{2}{3}} x (s)^{\frac{1}{2}} \times A$$

$$Q = \frac{1}{0.013} (0.3033D)^{\frac{2}{3}} x \left(\frac{0.03}{100} \right)^{\frac{1}{2}} x 0.7115D^2 = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.4279D^{\frac{8}{3}} = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.4 \text{ m } (\text{Ø}16'')$$

Para este diámetro, la velocidad será:

$$V = \frac{1}{0.013} (0.3033D)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{0.03}{100}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.6014D^{\frac{2}{3}}$$

$$V_2 = 0.32965 \text{ m/s}$$

Como $V_1 \neq V_2$ se vuelve a repetir el procedimiento desde el paso N°2 asumiendo una velocidad igual a 0.32965 m/s .

2. Asumiendo una velocidad de 0.32965 m/s y usando la fórmula 4.8 para encontrar un valor de tiempo de traslación:

$$t_v = \frac{L}{V_1}$$

$$t_v = \frac{91}{0.32965} = 4.601 \text{ min}$$

3. Luego se calcula el tiempo de concentración haciendo uso de la fórmula 4.7.

$$t_c = t_0 + t_v$$

$$t_c = 0.205 + 4.601 = 4.806 \text{ min}$$

$$t_c = 10 \text{ min}$$

4. Calculamos la intensidad empleando la fórmula 4.6.

$$I_{25} \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right) = \frac{(2327 * \ln Tr) - 2085}{(t_c + 75)^{0.912}} = 94.01 \text{ mm/h}$$

5. Aplicando la fórmula 4.1:

$$Q = \frac{CIA}{360} = 0.039 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

8. Calculamos el diámetro y la velocidad:

$$Q = \frac{1}{0.013} (0.3033D)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{0.03}{100}\right)^{\frac{1}{2}} \times 0.7115D^2 = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$0.4279D^{\frac{8}{3}} = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D = 0.40 \text{ m}$$

$$D = \varnothing 16''$$

Para este diámetro, la velocidad será:

$$V = \frac{1}{0.013} (0.3033D)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{0.03}{100}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0.6014D^{\frac{2}{3}}$$

$$V_2 = 0.32965 \text{ m/s}$$

En este caso como $V_1 \approx V_2$, entonces se puede concluir que el procedimiento ha sido el adecuado y el diámetro encontrado es el correcto.

De igual forma se analiza los demás tramos que componen cada subcuenca de la cuenca urbana El Chilcal, tal y como se muestra en las tablas de apéndice C.1 y C.2.

4.2 Método del hidrograma unitario

4.2.1 Hietograma de diseño

El hietograma es un gráfico que expresa la precipitación recogida en intervalos regulares de tiempo. Generalmente se presenta como un histograma (diagrama de barras) y otras se representa como un gráfico de línea (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Sánchez (s.f.) afirma lo siguiente: Un hietograma se refiere a un día o a una tormenta concreta (en el eje de las abscisas, las horas que duró la tormenta); en algunos casos el periodo de tiempo representado en el eje horizontal puede ser más amplio, meses o años. Para su elaboración, si se trata de un hietograma mensual o anual, bastará con disponer de datos

diarios. Si se trata de un hietograma de un día o de unas horas de duración, se necesita una banda de pluviógrafo, leyendo la precipitación caída en los intervalos elegidos (p.3).

Según la norma OS. 060 de drenaje pluvial urbano se indica que el hietograma de diseño debe cumplir (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

a) Cuando no se tenga información que permita establecer la distribución temporal de la precipitación durante la tormenta, se puede emplear técnicas simples como la distribución triangular de la precipitación o la técnica de bloques alternantes.

La distribución triangular viene dada por las expresiones:

- $h = 2P / T$, altura h del pico del hietograma, donde P es la precipitación total.
- $r = t_a / T_d$, coeficiente de avance de la tormenta es igual al tiempo pico, t_a , entre la duración total, T_d . $t_b = T_d - t_a = (1 - r) T_d$, tiempo de recesión.

El método de bloques alternantes especifica la profundidad de precipitación en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt , sobre una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$.

b) La duración total de la tormenta para esta tesis es de 24 horas.

Desarrollo del hietograma de diseño:

1. Con un periodo de retorno $T_r = 25$ años y un incremento $\Delta t = 10$ min, empleamos la fórmula 4.6 para encontrar el valor de la intensidad para cada intervalo de tiempo.
2. Conociendo el valor de la intensidad se calcula la precipitación acumulada por cada intervalo de tiempo.
3. Se calcula el incremento de la precipitación y se ordenan de forma decreciente.

4. Reordenamos los resultados de manera que el mayor valor esté en medio de la serie, y se vayan alternando en orden descendente alternativamente a lado y lado de ese máximo.

En el apéndice D.1 se muestra la tabla de resultados de la tormenta de diseño y en la figura 58 se puede visualizar el hietograma de diseño para una tormenta de periodo de retorno de 25 años.



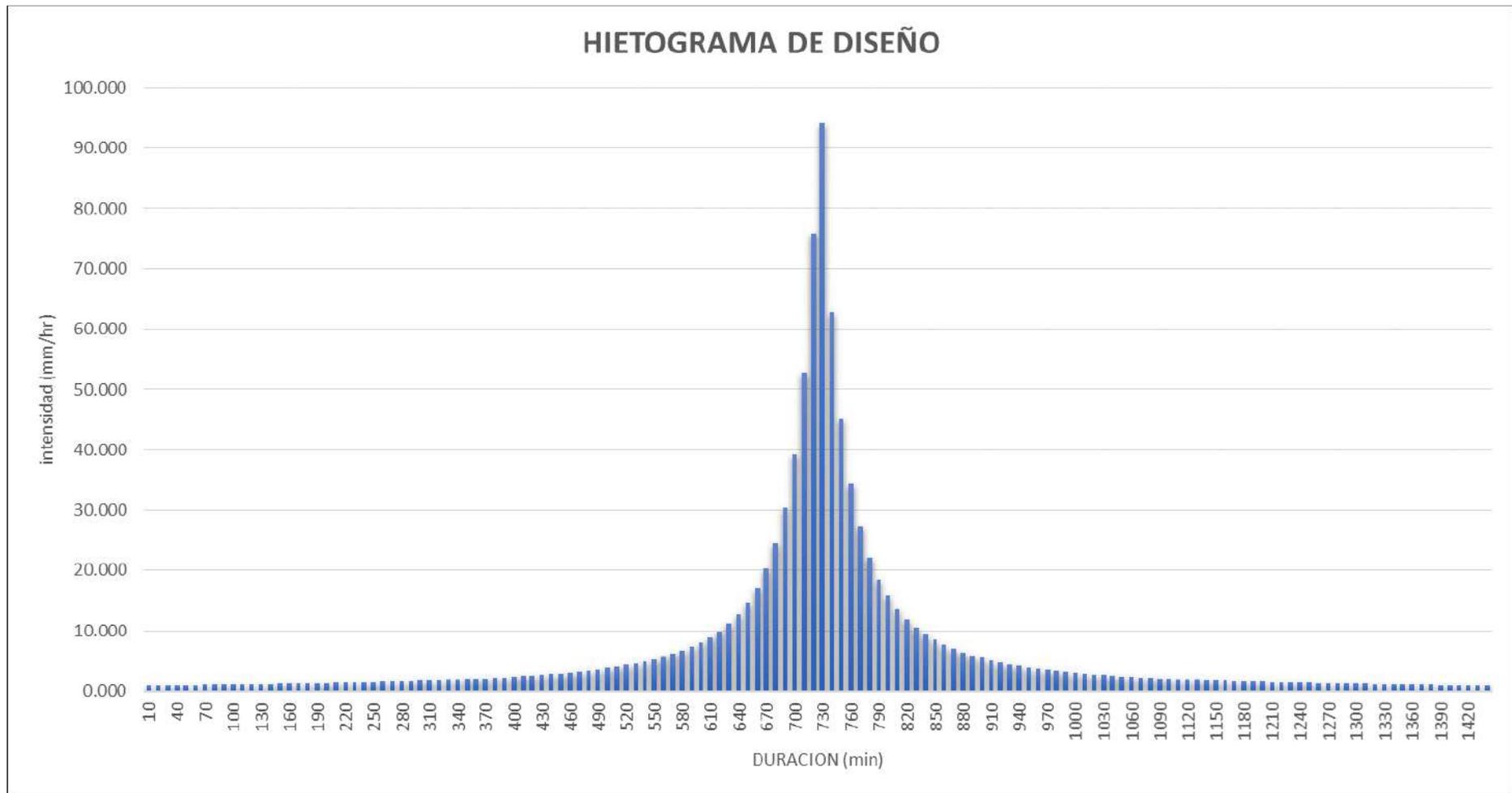


Figura 58. Hietograma de diseño para una tormenta de $Tr = 25$ años
 Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Hietograma efectivo

Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) a través de la norma OS.060 de drenaje pluvial urbano recomienda “realizar la separación de la precipitación efectiva de la total utilizando el método de la curva número (CN); pero pueden usarse otros métodos que el diseñador crea justificable” (p.44).

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) define la precipitación efectiva como la “porción de lluvia que escurrirá superficialmente. Es la cantidad de agua de lluvia que queda de la misma después de haberse infiltrado, evaporado o almacenado en charcos” (p.3).

4.2.3 Método curva número

Chow, Maidment y Mays (1994) afirman lo siguiente respecto al cálculo de la precipitación efectiva: La profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (Abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es la diferencia entre P e I_a (p.150).

Entre las variables que considera este método tenemos:

- La precipitación para un tiempo determinado.
- El tipo de suelo y cantidad de cobertura vegetal.
- La humedad, variable necesaria para determinar el valor de CN.

Las fórmulas necesarias para este método son las siguientes:

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (4.13)$$

Donde:

P_e es precipitación efectiva (mm)

P es precipitación de diseño (mm)

S es retención potencial máxima (pulg.)

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (4.14)$$

Donde:

CN es número de curva de escorrentía, adimensional, en función de AMC (condición antecedente de humedad). El grupo ACM va de acuerdo a su condición, tal y como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Condiciones antecedentes de humedad (AMC) básicas empleadas en el método SCS.

GRUPO AMC	CONDICIÓN
I	Seca
II	Normal
II	Húmeda

Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1994.

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (4.15)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (4.16)$$

En función del tipo de suelo se definen cuatro grupos, estas se pueden apreciar en la siguiente tabla (tabla 17):

Tabla 17. Grupo de suelo según el tipo del suelo

GRUPO	CARACTERÍSTICAS
A	Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.
B	Suelos poco profundos depositados por el viento y marga arenosa.
C	Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
D	Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1994.

De acuerdo a la tabla 18 se va elegir el número de curva, y esto va depender del tipo de suelo y del grupo hidrológico del suelo que se ha seleccionado.

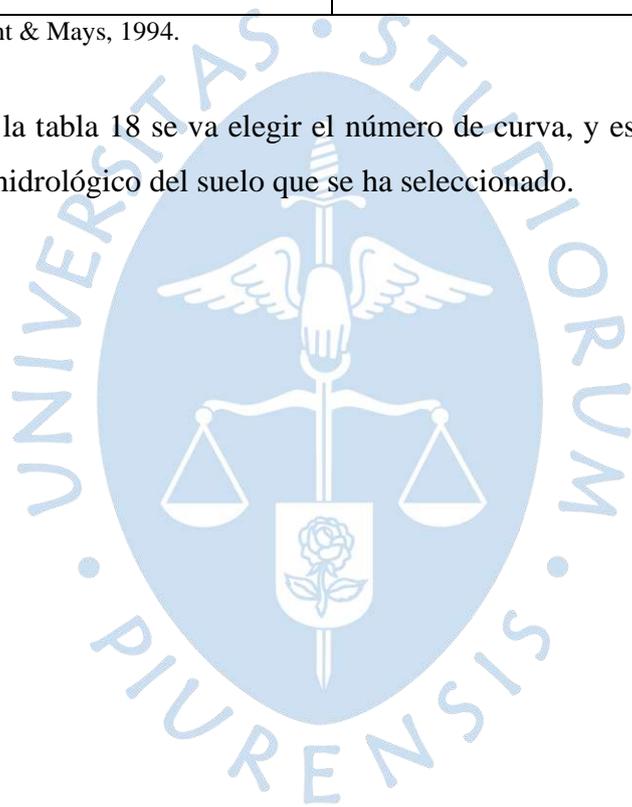


Tabla 18. Número de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, suburbana y urbana (Condiciones antecedentes de humedad II, Ia – 0,2S)

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada. Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: Condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. Óptimas condiciones: Cubiertas de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio de lote	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Fuente: Chow, Maidment & Mays, 1994.

Consideraciones:

Para la selección del grupo hidrológico del suelo se ha tenido que hacer uso del estudio de suelos para conocer el tipo de suelo que se encuentra en la cuenca de estudio. Para dicho propósito, se ha obtenido dicha información por parte del estudio de mecánica de suelos realizado por Sandoval (2010).

Para la definición del grupo hidrológico B, se ha tomado como resultados los datos obtenidos en las pruebas estándar de penetración dentro de la cuenca (ver anexos A.1 y A.2). En la siguiente tabla (tabla 19) se muestra el procedimiento para el cálculo del CN en la cuenca El Chilcal.

Tabla 19. Cálculo del CN.

Uso de suelo	Grupo Hidrológico de suelo		
	B (100%)		
	%	CN	producto
Área residencial que es impermeable en un 65%	62	85	52.7
Césped en condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%	5	69	3.45
Calles y carreteras pavimentadas	25	98	24.5
plazas y similares	8	98	7.84

Fuente: Elaboración propia.

CN ponderado	88.49
---------------------	--------------

Calculamos la distribución temporal de las abstracciones F_a en una tormenta empleando las ecuaciones básicas del método y despejando F_a , tenemos:

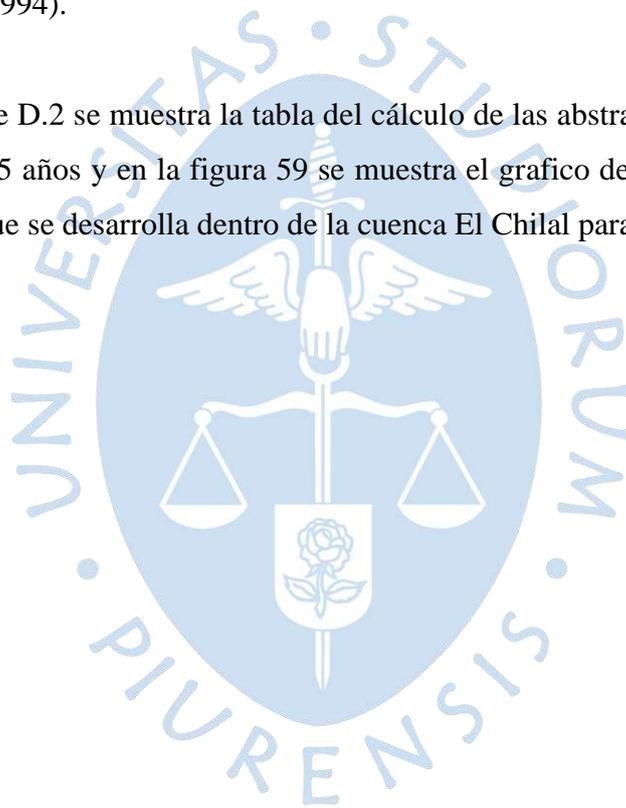
$$F_a = \frac{S(P-I_a)}{P-I_a+S} \quad P \geq I_a \quad (4.17)$$

Diferenciando y teniendo que I_a y S son constantes:

$$\frac{dF_a}{dt} = \frac{S^2 dP/dt}{(P - I_a + S)^2} \quad (4.18)$$

A medida que $P \rightarrow \infty$, $\left(\frac{dF_a}{dt}\right) \rightarrow 0$ tal como se requiere. La presencia de dP/dt (intensidad de lluvia) en el numerador significa que a medida que la intensidad de lluvia se incrementa, la tasa de retención de agua en la cuenca tiende a incrementarse (Chow, Maidment & Mays, 1994).

En el apéndice D.2 se muestra la tabla del cálculo de las abstracciones y del exceso de lluvia para un $Tr = 25$ años y en la figura 59 se muestra el gráfico de la intensidad total y la intensidad efectiva que se desarrolla dentro de la cuenca El Chilal para un $Tr=25$ años.



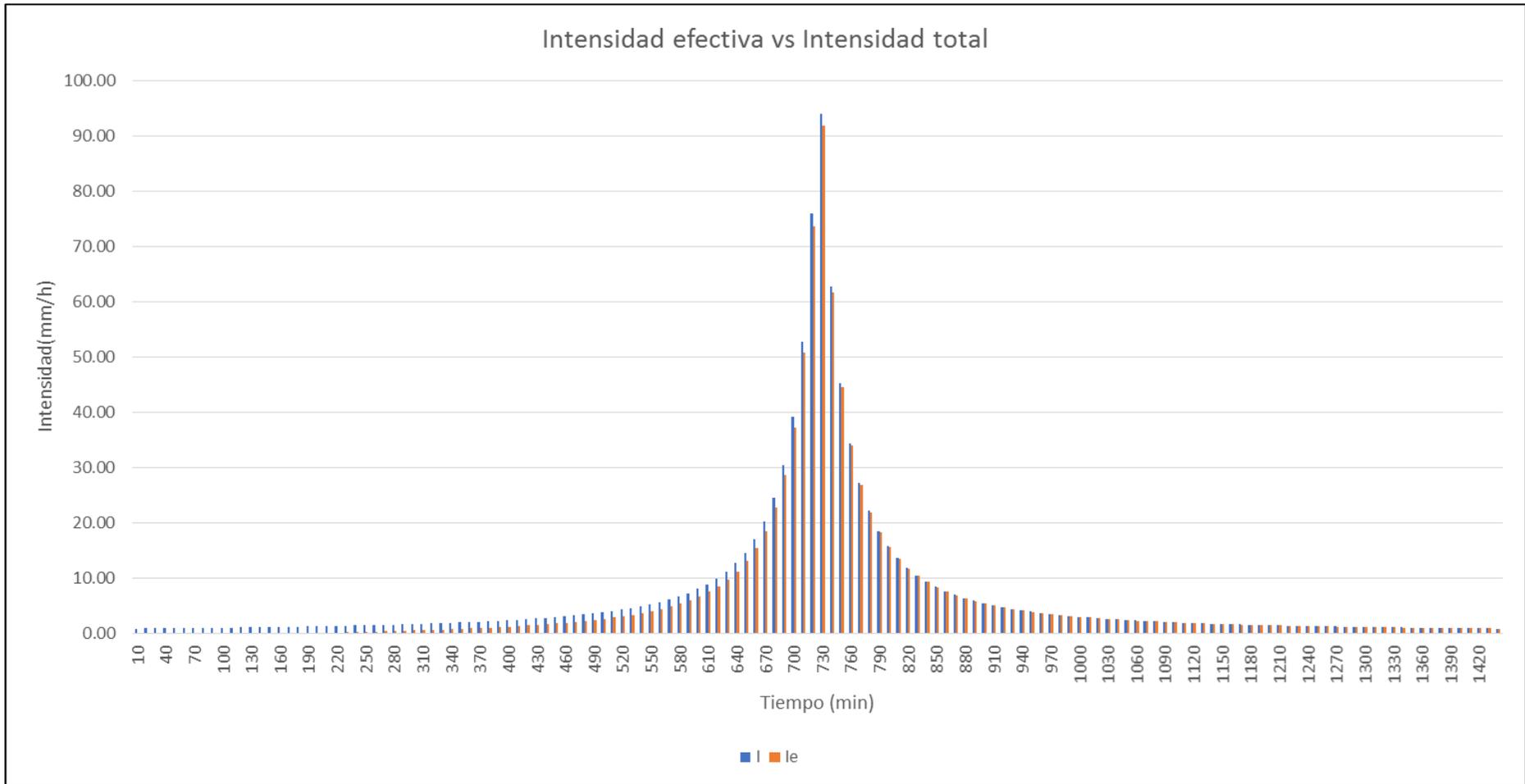


Figura 59. Intensidad total y intensidad efectiva para un $Tr=25$ años

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Hidrograma unitario

También conocido como gráfica unitaria, es el hidrograma de escorrentía directa (DRH, por sus siglas en inglés) que resulta de una lluvia de exceso de 1cm (ó 1 pulg), de intensidad constante a lo largo de una duración efectiva (Chow, Maidment & Mays, 1994).

El hidrograma unitario muestra la variación del flujo por unidad de escorrentía respecto a un tiempo determinado. El análisis consiste en establecer la precipitación promediada para la cuenca en estudio, considerando que la lluvia se distribuye uniformemente en toda la cuenca hidrológica y así notar qué parte de la precipitación se transformará en precipitación efectiva. Con este gráfico se puede conocer el valor pico o caudal máximo para poder diseñar el sistema de drenaje pluvial adecuado (Chow, Maidment & Mays, 1994).

Hidrograma adimensional SCS: Es un hidrograma unitario sintético en donde el caudal se define como la relación del caudal q con respecto al caudal pico q_p y el tiempo se define como la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario T_p (Chow, Maidment & Mays, 1994).

$$t_p = 0.6t_c \quad (4.19)$$

Donde:

t_p : Tiempo de retardo (entre el centroide del hidrograma y el pico de caudal) (h)

t_c : Tiempo de concentración de la cuenca.

El tiempo de ocurrencia del pico, T_p , puede expresarse como:

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p \quad (4.20)$$

Donde:

D: duración de la lluvia (h)

El tiempo de recesión, t_r , puede aproximarse a:

$$t_r = 1.67 T_p \quad (4.21)$$

Como el área bajo el HU debe ser igual a una escurrentía de 1 cm, puede demostrarse que:

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p} \quad (4.22)$$

Donde:

A es el área de drenaje en km^2 y T_p es el tiempo de ocurrencia del pico en horas. En la figura 60 se muestran todas las variables que influyen en el desarrollo del hidrograma unitario triangular

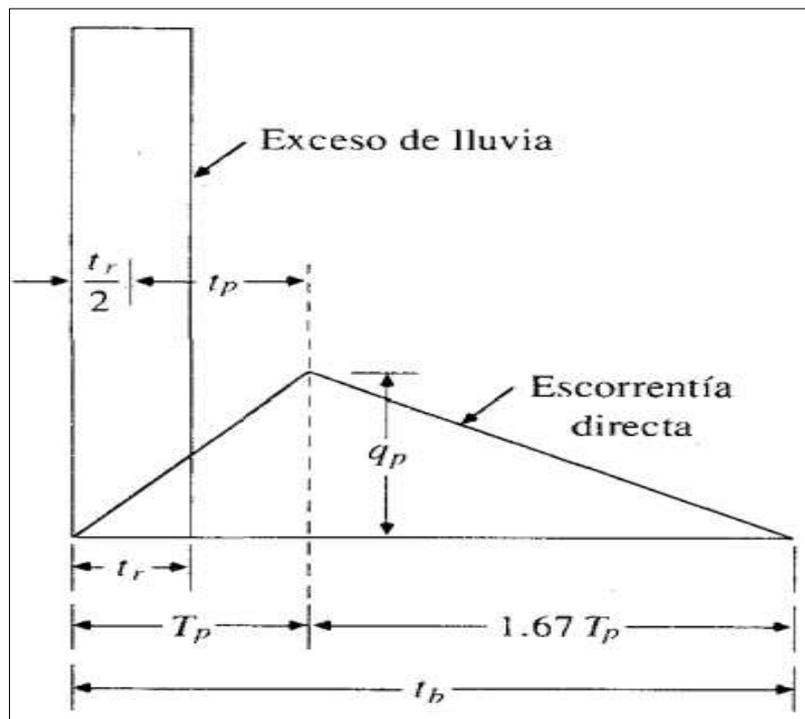


Figura 60. Hidrograma unitario triangular del SCS
Fuente: Chow, Maidment & Mays al, 1994.

Procedemos a calcular el hidrograma unitario triangular del SCS:

D= 10 min

A=0.3769 km^2

$t_c=0.38h$

Aplicando la fórmula 4.19

$$t_p = 0.6t_c = 0.23 \text{ h}$$

1. Calculamos el tiempo de ocurrencia del pico aplicando la fórmula 4.20

$$T_p = \frac{D}{2} + t_p = 0.31 \text{ h} \approx 20 \text{ min}$$

2. Calculamos el tiempo de recesión del pico aplicando la fórmula 4.21

$$t_r = 1.67 T_p = 0.52 \text{ h} \approx 30 \text{ min}$$

3. Reemplazando en la fórmula 4.22 calculamos el caudal pico

$$q_p = \frac{2.08A}{T_p} = 2.50 \text{ m}^3/\text{s} \times \text{cm}$$

En la siguiente figura (figura 61) se puede apreciar el desarrollo del hidrograma unitario correspondiente a la cuenca de estudio El Chilcal.

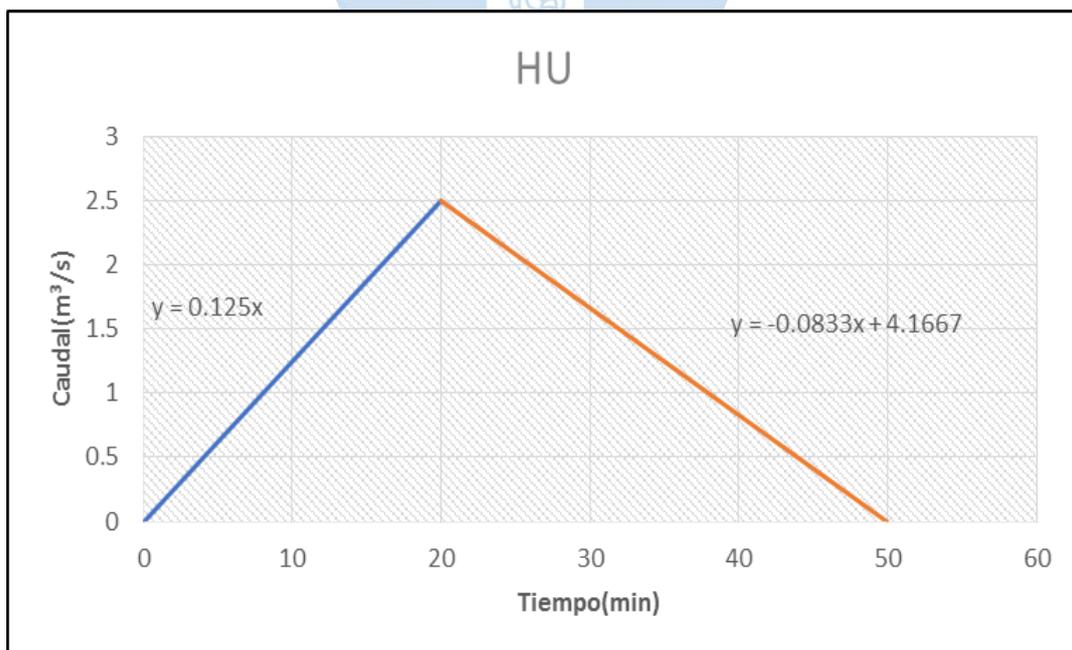


Figura 61. Hidrograma unitario
Fuente: Elaboración propia.

Con el hidrograma unitario y con la lluvia de diseño, se puede hallar el hidrograma de diseño; para lo cual se realiza el proceso de convolución que consiste en una serie de multiplicaciones desfasadas en el tiempo (Farias, 2007):

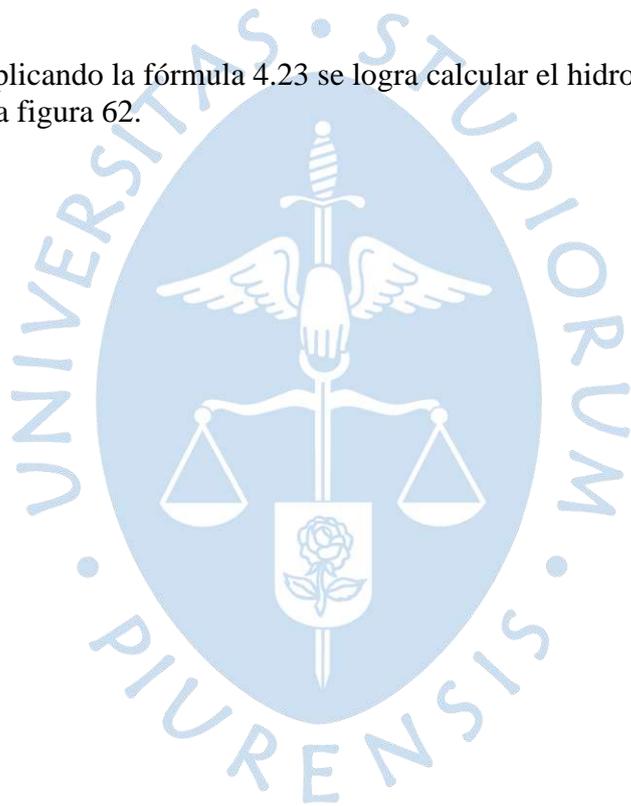
$$Q(t) = Pe(t) * HU(t) \quad (4.23)$$

Q= caudal (m^3/s)

Pe= Precipitación efectiva (cm)

HU= Hidrograma Unitario ($m^3/s.cm$)

Finalmente, aplicando la fórmula 4.23 se logra calcular el hidrograma de diseño, tal y como se muestra en la figura 62.



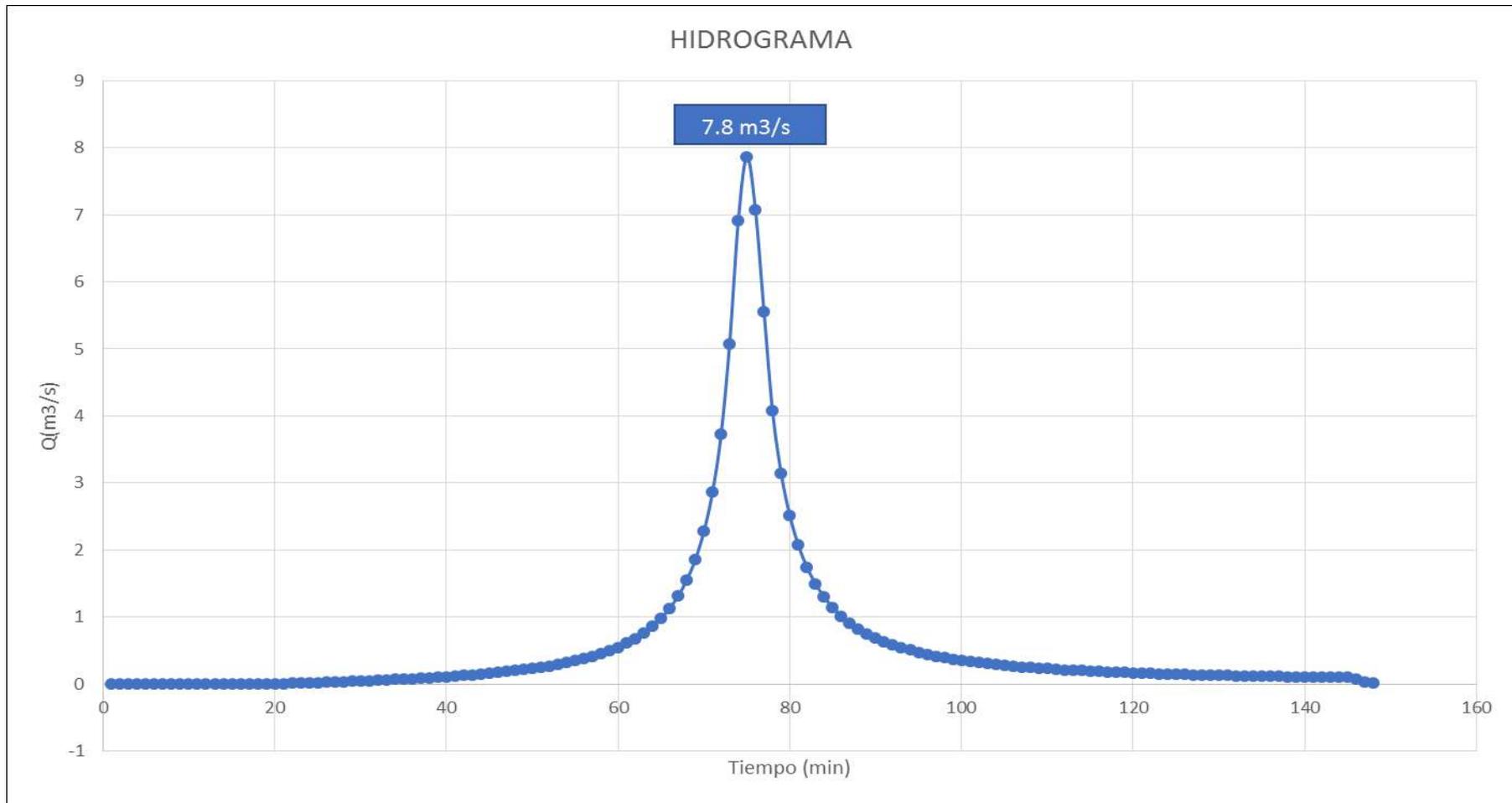


Figura 62. Hidrograma de diseño para un $T_r=25$ años
Fuente: Elaboración propia.



Capítulo 5

Diseño del sistema de drenaje pluvial

5.1 Sistema planteado

Debido a la problemática de la urbanización, El Chilcal, este proyecto contempla el almacenamiento parcial del volumen del agua en la zona más baja de la urbanización, pero teniendo en cuenta que se va almacenar en un estanque y en el mismo terreno (calzadas y bermas). Entonces la zona más baja de, El Chilcal, resultará inundable.

La idea es retirar una fracción de la tormenta y disponer de la otra fracción localmente, esto puede lograrse conduciendo toda la crecida generada por las aguas lluvias hacia la zona más baja, por simple gravedad, hasta que se completa un determinado volumen. Para el almacenamiento parcial se estableció un nivel de inundación, el cual no genere situaciones críticas como; por ejemplo, en este caso que no afecte el sistema eléctrico, dando como nivel de inundación la cota de ingreso de la casa ubicada en el punto más bajo de la cuenca.

Posteriormente se diseñan las tuberías que transportan las aguas de lluvia captadas a partir de sumideros, ubicados en la zona más baja, para luego ser descargadas al dren Cesar Vallejo. Para ello se emplea bombas hidráulicas con la capacidad de caudal de esorrentía equivalente a lo restante de lo almacenado.

5.2 Diseño del sistema pluvial

5.2.1 Estructuras de captación

5.2.1.1 Diseño de rejillas. Se ha diseñado 4 rejillas transversales (ver tabla 20) que van a captar el caudal de escorrentía (calculados en el apéndice C.2) y, que llegan al punto más bajo de la cuenca (punto c):

Tabla 20. Rejillas transversales

Tramo	Q(m ³ /s)	n	b (m)
B – C	1.75	0.013	0.8
15' – C	4.08	0.013	1.0
G – C	1.57	0.013	0.8
D – C	0.13	0.013	0.5

Fuente: Elaboración propia.

Se busca un espaciamiento ni tan grande para que impida el ingreso de materiales sólidos a las cunetas y, ni tan pequeño para que los espaciamientos no se obstruyan con cualquier material e impidan el ingreso del agua de lluvia.

Se ha tomado como referencia los espaciamientos de varillas de las rejillas ubicadas en la Urbanización Santa Isabel (ver figura 63), ya que estas han tenido un buen funcionamiento cuando se ha presentado el Fenómeno El Niño Costero 2017. La distribución de las varillas se puede apreciar en la figura 64.

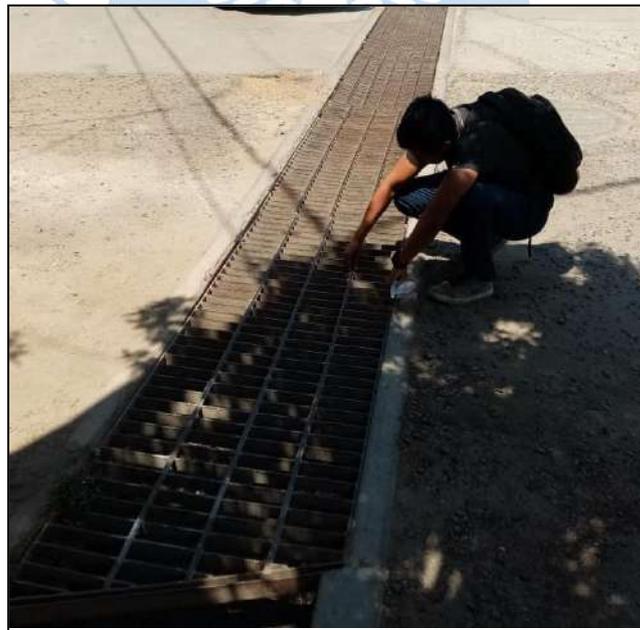


Figura 63. Rejillas de la Urb. Santa Isabel
Fuente: Fotografía propia.

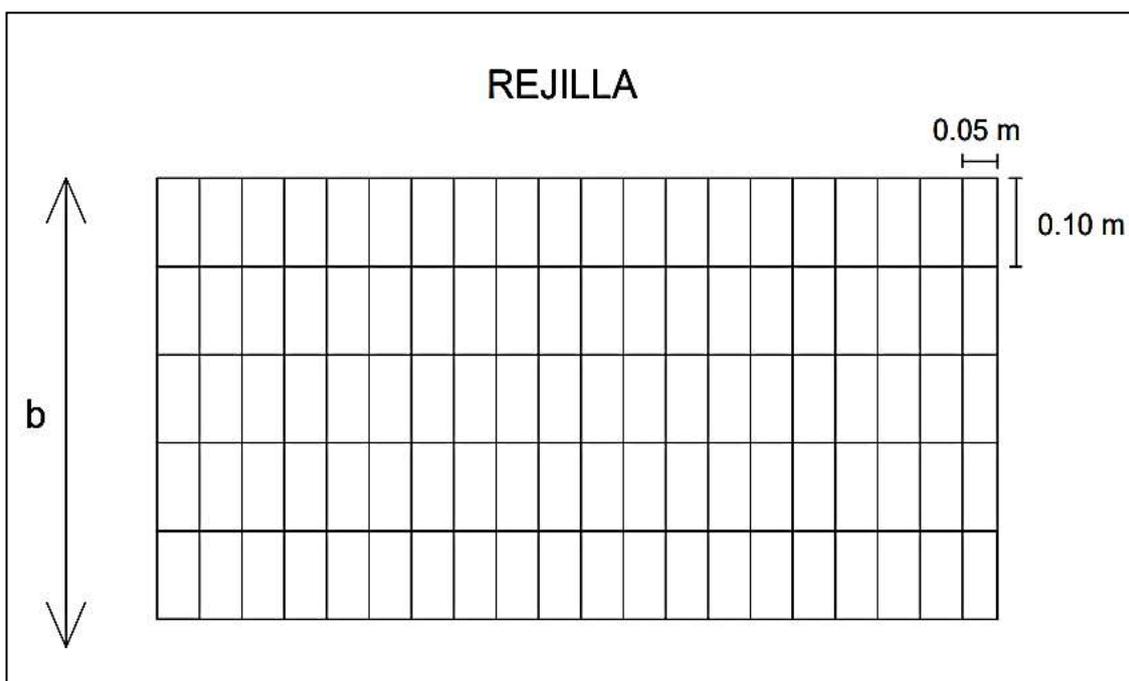


Figura 64. Espaciamiento de las rejillas
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.2 Diseño de cunetas transversales. Con ayuda del programa HCanales⁴ se han obtenido los valores de tirante (y), energía (m) y la velocidad (V), estos datos se muestran en la siguiente tabla (tabla 21) :

Tabla 21. Cunetas trasversales

Tramo	Q (m ³ /s)	n	B(m)	S	y (m)	Energía(m)	h(m)	V (m/s)
B – C	1.86	0.013	0.75	0.03	0.52	1.70	1.8	4.81
15' – C	4.29	0.013	0.95	0.01	1.20	1.92	2.0	3.75
G – C	1.70	0.013	0.75	0.03	0.48	1.62	1.8	4.72
D – C	0.14	0.013	0.45	0.02	0.15	0.38	0.5	2.15

Fuente: Elaboración propia.

Se debe cumplir que:

$$h > \text{Energía} > y$$

En las figuras 65 y 66 se muestra el modelo de la cuneta que se va emplear en este proyecto de tesis.

⁴ Software que facilita el diseño de canales y estructuras hidráulicas

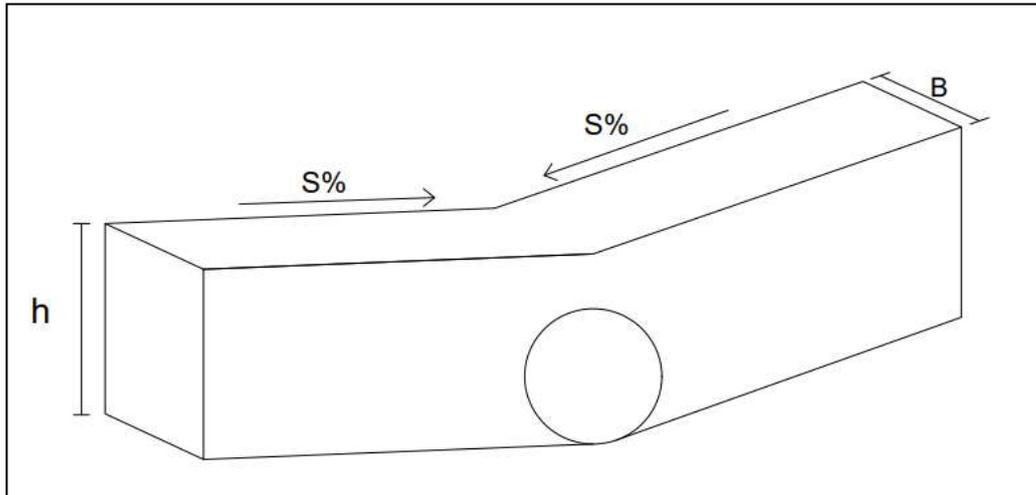


Figura 65. Diseño de conexión cuneta-tubería
Fuente: Elaboración propia.

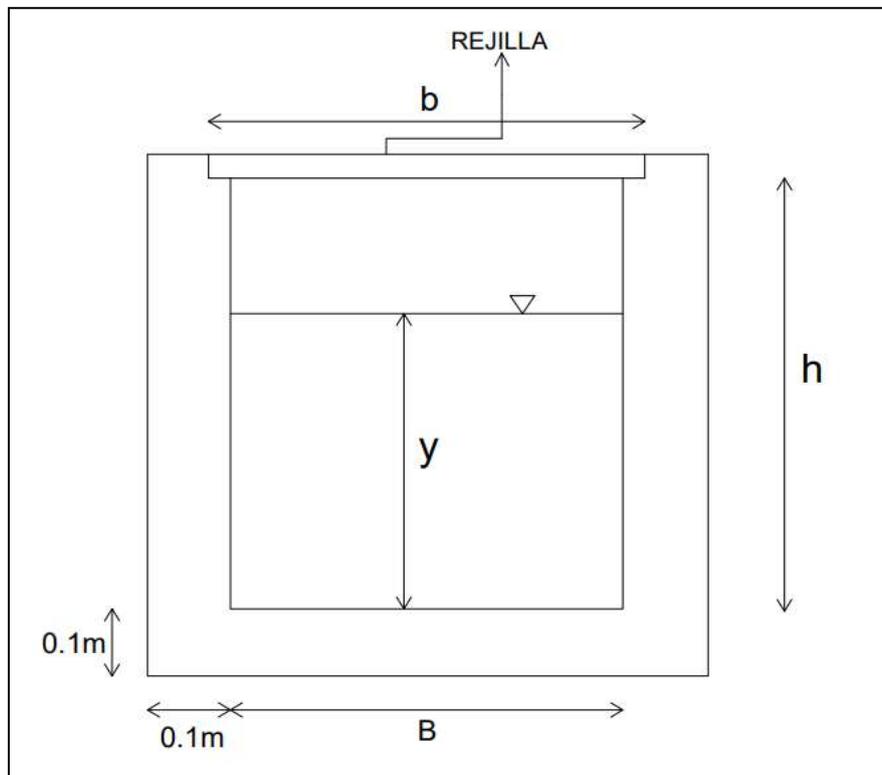


Figura 66. Sección transversal de la cuneta
Fuente: Elaboración propia.

5.2.1.3 Diseño de tuberías. Los conductos son de sección circular y están constituidas de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV). Las tuberías de PRFV presentan una gran resistencia a la corrosión y su uso es más habitual para el abastecimiento de agua, redes de riego, saneamiento, etc., debido a sus precios competitivos en diámetros medios ya que sus propiedades frente a la corrosión no son determinantes en estas aplicaciones. Con ayuda del

programa HCanales se han obtenido los valores de tirante (y), velocidad (V) y energía específica de las tuberías; estos valores se pueden apreciar en la tabla 22.

La selección del diámetro de la tubería va de acuerdo al valor de su energía específica, es decir, lo que se busca es escoger un diámetro adecuado con la capacidad de soportar la energía específica generada.

Se debe cumplir que: Diámetro (D) > energía específica.

Tabla 22. Parámetros de las tuberías de las cunetas al colector

Tramo	Q(m ³ /s)	D(m)	S	N	y(m)	v(m/s)	Energía específica(m)
B – C	1.86	1.2	0.005	0.009	0.5567	3.4073	1.1485
15' – C	4.29	1.6	0.003	0.009	0.9064	3.4721	1.5209
G – C	1.70	1.2	0.005	0.009	0.5236	3.3122	1.0827
D – C	0.14	0.4	0.004	0.009	0.2427	1.6296	0.3780

Fuente: Elaboración propia.

Las tuberías del punto C hasta el estanque se diseñan con el caudal máximo que se genera en la cuenca. Por lo tanto, en la tabla 23, los tres tramos tienen iguales parámetros.

Tabla 23. Parámetros de las tuberías del colector al estanque

Tramo	Q(m ³ /s)	D(m)	S	n	y(m)	v(m/s)	Energía específica(m)
C-B	8.00	2.0	0.002	0.009	1.3112	3.4493	1.9176
B-A	8.00	2.0	0.002	0.009	1.3112	3.4493	1.9176
A - estanque	8.00	2.0	0.002	0.009	1.3112	3.4493	1.9176

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Estanque de almacenamiento

Se establecen las cotas de fondo de los colectores para originar la translación de las aguas por gravedad y a la vez se establece la cota de fondo del estanque para poder recolectar dichas aguas, tal y como se muestran en la figura 67. El estanque se va rediseñar debido a que la cota de fondo que se requiere es distinta a la existente. La profundidad del estanque va a jugar un rol muy importante debido a lo siguiente:

El área del estanque se encuentra limitado por la Av. Grau, por lo que solo la profundidad es variable. Las capacidades de las bombas van depender del volumen de almacenamiento; mientras mayor sea el volumen de almacenamiento, menor va ser las capacidades de las bombas. Se busca trabajar con capacidades de bombas comerciales.

En la tabla 24 se muestran las dimensiones del estanque con el cual se va trabajar.

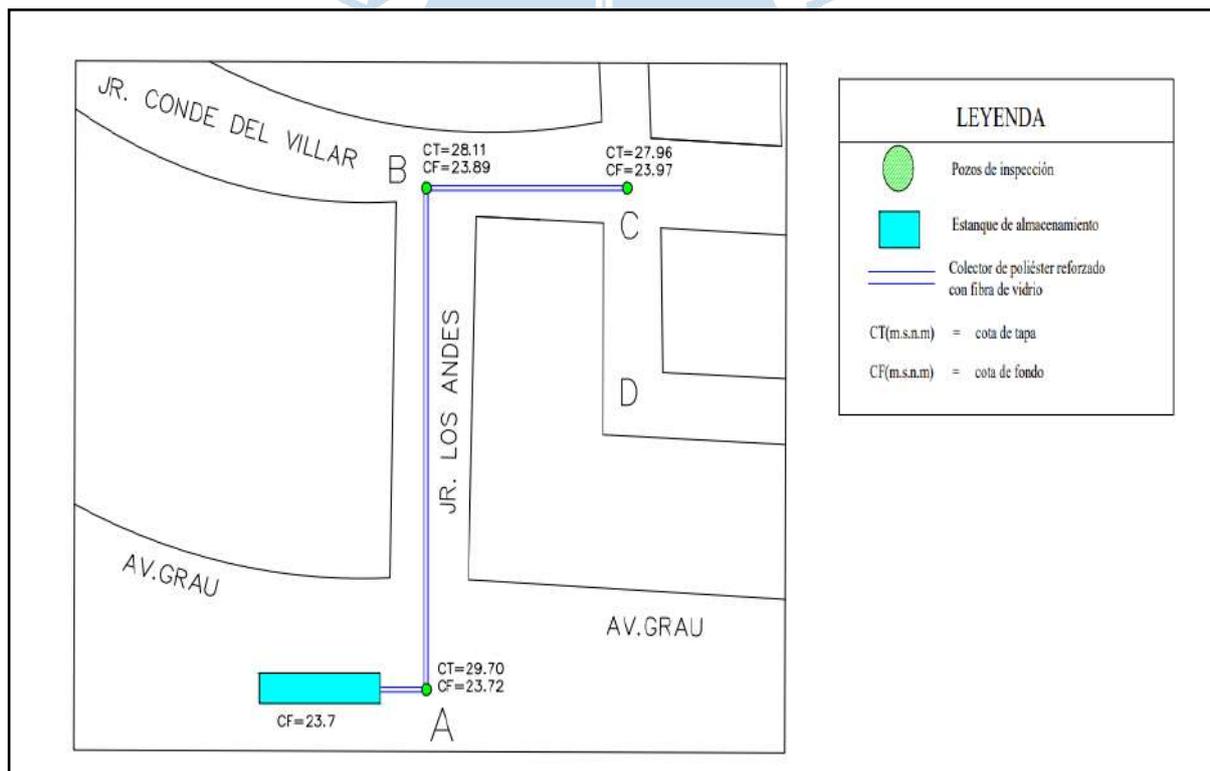


Figura 67. Cota de los colectores y del estanque
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Dimensiones del estanque

Cota de fondo del estanque (m.s.n.m)	23.7
Cota máx. del estanque (m.s.n.m)	29.7
Altura máx. de estanque (m)	6.0
Largo (m)	30.4
Ancho(m)	5.4
Volumen máx. del estanque (m ³)	985.3

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Sistema de bombeo

5.2.3.1 Volumen generado por la tormenta. Gracias al hidrograma de diseño se ha podido calcular el volumen generado por la tormenta, visualizados en la tabla 25 y figura 68.

Tabla 25. Volumen generado por la tormenta

Q(m ³ /s)	T(min)	área (m ³ /s. min)	V parcial (m ³)	V acumulado (m ³)
0	0	0	0	0
0	1	0	0	0
0	2	0	0	0
0	3	0	0	0
0	4	0	0	0
0	5	0	0	0
0	6	0	0	0
0	7	0	0	0
0	8	0	0	0
0	9	0	0	0
0	10	0	0	0
0	11	0	0	0
0	12	0	0	0
0	13	0	0	0

Q(m³/s)	T(min)	área (m³/s. min)	V parcial(m³)	V acumulado(m³)
0	14	0	0	0
0	15	0	0	0
0	16	0	0	0
0.00	17	0	0	0
0.00	18	0	0.03	0.04
0.00	19	0	0.13	0.17
0.01	20	0	0.30	0.47
0.01	21	0.01	0.51	0.98
0.01	22	0.01	0.74	1.72
0.02	23	0.02	0.99	2.71
0.02	24	0.02	1.24	3.94
0.03	25	0.02	1.49	5.44
0.03	26	0.03	1.76	7.20
0.04	27	0.03	2.03	9.23
0.04	28	0.04	2.32	11.55
0.05	29	0.04	2.61	14.16
0.05	30	0.05	2.92	17.08
0.06	31	0.05	3.24	20.32
0.06	32	0.06	3.57	23.89
0.07	33	0.07	3.92	27.82
0.07	34	0.07	4.29	32.11
0.08	35	0.08	4.67	36.78
0.09	36	0.08	5.08	41.86
0.10	37	0.09	5.50	47.36
0.10	38	0.10	5.95	53.31
0.11	39	0.11	6.43	59.74
0.12	40	0.12	6.93	66.67
0.13	41	0.12	7.47	74.14
0.14	42	0.13	8.04	82.18
0.15	43	0.14	8.65	90.83
0.16	44	0.16	9.31	100.14
0.17	45	0.17	10.01	110.15
0.19	46	0.18	10.77	120.92
0.20	47	0.19	11.59	132.52
0.22	48	0.21	12.48	145.00
0.23	49	0.22	13.45	158.46
0.25	50	0.24	14.51	172.97
0.27	51	0.26	15.68	188.65
0.29	52	0.28	16.96	205.61
0.32	53	0.31	18.37	223.98

Q(m³/s)	T(min)	área (m³/s. min)	V parcial (m³)	V acumulado (m³)
0.35	54	0.33	19.95	243.93
0.38	55	0.36	21.71	265.63
0.41	56	0.39	23.68	289.31
0.45	57	0.43	25.91	315.23
0.50	58	0.47	28.45	343.68
0.55	59	0.52	31.36	375.04
0.61	60	0.58	34.72	409.76
0.68	61	0.64	38.63	448.38
0.76	62	0.72	43.22	491.61
0.86	63	0.81	48.69	540.30
0.98	64	0.92	55.27	595.56
1.13	65	1.06	63.30	658.87
1.31	66	1.22	73.27	732.14
1.55	67	1.43	85.89	818.03
1.86	68	1.70	102.23	920.26
2.28	69	2.07	124.01	1044.27
2.86	70	2.57	154.05	1198.32
3.72	71	3.29	197.44	1395.76
5.08	72	4.40	264.02	1659.78
6.91	73	5.99	359.61	2019.39
7.86	74	7.39	443.15	2462.54
7.07	75	7.47	448.17	2910.71
5.56	76	6.32	378.95	3289.66
4.07	77	4.81	288.88	3578.54
3.14	78	3.61	216.46	3795.00
2.52	79	2.83	169.81	3964.81
2.07	80	2.30	137.72	4102.54
1.75	81	1.91	114.57	4217.11
1.50	82	1.62	97.24	4314.35
1.30	83	1.40	83.88	4398.23
1.14	84	1.22	73.33	4471.56
1.02	85	1.08	64.84	4536.40
0.91	86	0.96	57.89	4594.29
0.82	87	0.87	52.12	4646.41
0.75	88	0.79	47.26	4693.67
0.69	89	0.72	43.13	4736.79
0.63	90	0.66	39.58	4776.37

Q(m³/s)	T(min)	área (m³/s. min)	V parcial (m³)	V acumulado (m³)
0.58	91	0.61	36.51	4812.88
0.54	92	0.56	33.83	4846.71
0.51	93	0.52	31.47	4878.18
0.47	94	0.49	29.39	4907.57
0.44	95	0.46	27.53	4935.10
0.42	96	0.43	25.88	4960.98
0.39	97	0.41	24.39	4985.37
0.37	98	0.38	23.05	5008.42
0.35	99	0.36	21.83	5030.24
0.34	100	0.35	20.72	5050.96
0.32	101	0.33	19.71	5070.67
0.31	102	0.31	18.78	5089.46
0.29	103	0.30	17.93	5107.39
0.28	104	0.29	17.15	5124.54
0.27	105	0.27	16.43	5140.97
0.26	106	0.26	15.76	5156.73
0.25	107	0.25	15.14	5171.86
0.24	108	0.24	14.56	5186.42
0.23	109	0.23	14.02	5200.44
0.22	110	0.23	13.51	5213.95
0.21	111	0.22	13.04	5226.99
0.21	112	0.21	12.60	5239.59
0.20	113	0.20	12.18	5251.78
0.19	114	0.20	11.79	5263.57
0.19	115	0.19	11.43	5275.00
0.18	116	0.18	11.08	5286.08
0.18	117	0.18	10.75	5296.83
0.17	118	0.17	10.44	5307.27
0.17	119	0.17	10.15	5317.41
0.16	120	0.16	9.87	5327.28
0.16	121	0.16	9.60	5336.88
0.15	122	0.16	9.35	5346.24
0.15	123	0.15	9.11	5355.35
0.15	124	0.15	8.88	5364.23
0.14	125	0.14	8.66	5372.89
0.14	126	0.14	8.46	5381.35
0.14	127	0.14	8.26	5389.61

Q(m ³ /s)	T(min)	Área (m ³ /s. min)	V parcial (m ³)	Acumulado(m ³)
0.13	128	0.13	8.07	5397.67
0.13	129	0.13	7.89	5405.56
0.13	130	0.13	7.71	5413.27
0.12	131	0.13	7.54	5420.82
0.12	132	0.12	7.38	5428.20
0.12	133	0.12	7.23	5435.43
0.12	134	0.12	7.08	5442.51
0.11	135	0.12	6.94	5449.46
0.11	136	0.11	6.80	5456.26
0.11	137	0.11	6.67	5462.93
0.11	138	0.11	6.54	5469.48
0.11	139	0.11	6.42	5475.90
0.10	140	0.11	6.30	5482.20
0.10	141	0.10	6.19	5488.39
0.10	142	0.10	6.08	5494.47
0.10	143	0.10	5.97	5500.45
0.10	144	0.10	5.87	5506.32
0.08	145	0.09	5.21	5511.53
0.04	146	0.06	3.45	5514.98
0.01	147	0.03	1.52	5516.51

Fuente: Elaboración propia.

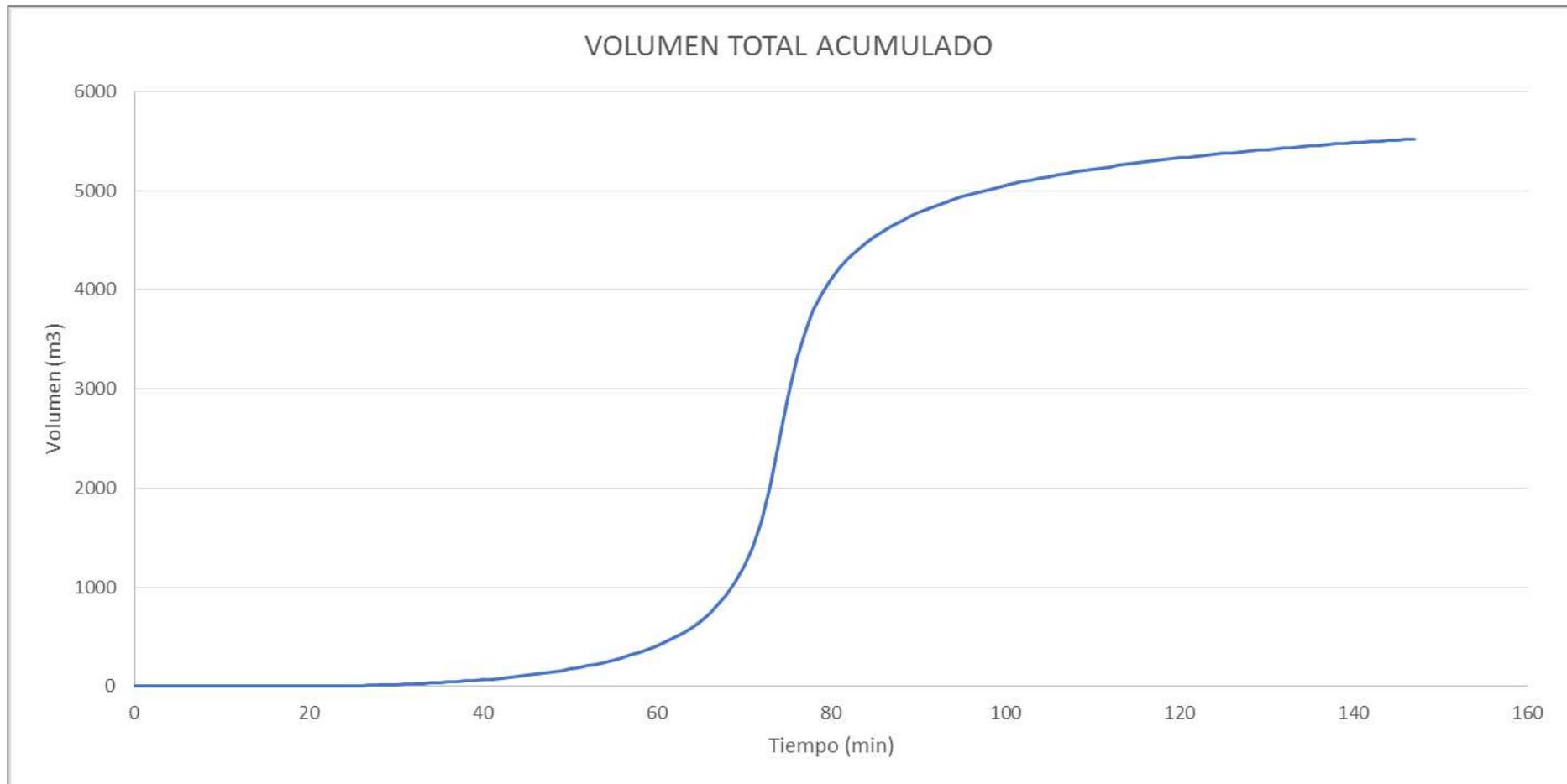


Figura 68. Volumen total acumulado vs tiempo
Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.2 Nivel de inundación. La selección de las bombas va de acuerdo al volumen del almacenamiento que se espera conseguir sin tener que exceder el nivel de inundación máximo establecido. Como cota de inundación máxima, se ha establecido la cota del ingreso de la casa más baja de la cuenca. Se ha verificado los niveles de inundación dentro de la cuenca con los pobladores (figura 69).

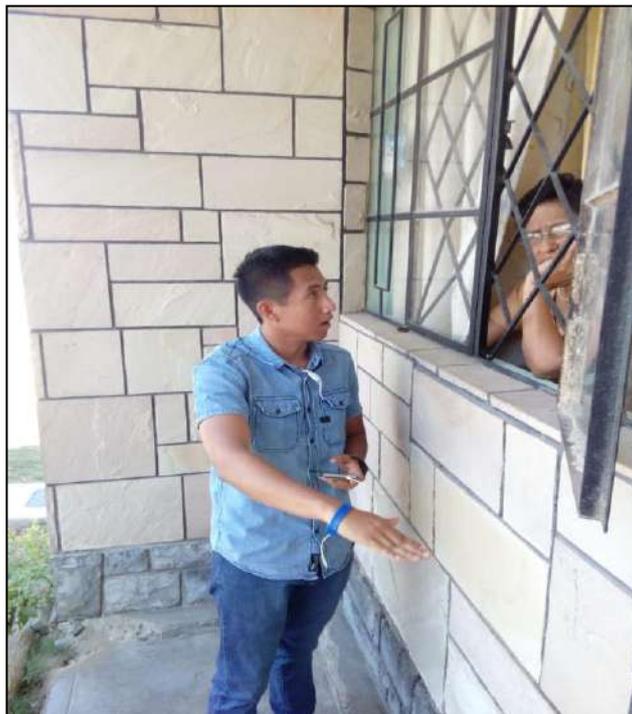


Figura 69. Verificación del nivel de inundación máxima
Fuente: Fotografía propia.

- Cota de terreno del punto más bajo de la cuenca (punto c) = 27.957 m.s.n.m.
- Altura de ingreso de la casa más baja (respecto al nivel del suelo) = 0.65 m.
- Cota de inundación máxima = $27.957 + 0.65 = 28.607$ m.s.n.m

Con la cota de inundación máxima se ha procedido a calcular el volumen que se debe almacenar como máximo, calculando el volumen de agua de toda la cuenca hasta la cota 28.607 m.s.n.m; para ello se hizo un esquema para el cálculo de agua que iba almacenar cada calle (ver figura 70) y en la tabla 26 se muestran los resultados del volumen almacenado.

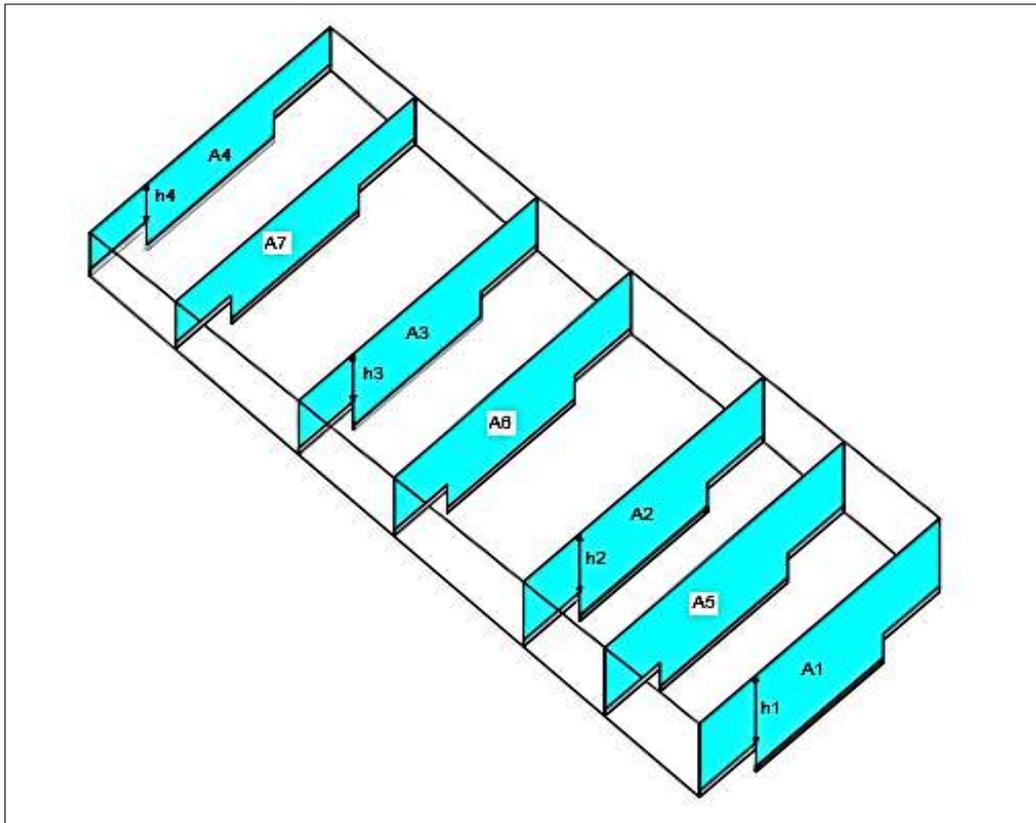


Figura 70. Esquema del cálculo de volumen de almacenamiento en las calles
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$$A_5 = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

$$A_6 = \frac{A_2 + A_3}{2}$$

$$A_7 = \frac{A_3 + A_4}{2}$$

$$L_{\text{equedistante}} = \frac{L_{\text{Total de calle}}}{3}$$

$$V_1 = A_5 \times L_{\text{equedistante}}$$

$$V_2 = A_6 \times L_{\text{equedistante}}$$

$$V_3 = A_7 \times L_{\text{equedistante}}$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

Tabla 26. Volumen de almacenamiento máxima de calles a una cota de 28.607 m.s.n.m.

Tramo	s long.	h1 (m)	h2 (m)	h3 (m)	h4 (m)	ancho (m)	a1 (m ²)	a2 (m ²)	a3 (m ²)	a4 (m ²)	l eq. (m)	a5 (m ²)	a6 (m ²)	a7 (m ²)	v1 (m ³)	v2 (m ³)	v3 (m ³)	vt (m ³)
C-G	0.0093	0.65	0.49	0.34	0.18	11.60	7.54	5.72	3.91	2.09	16.8	6.63	4.81	3.00	111.19	80.71	50.24	242.14
B-C	0.0040	0.65	0.59	0.55	0.49	11.60	7.54	6.95	6.35	5.75	12.7	7.24	6.65	6.05	91.98	84.41	76.85	253.24
G-F	0.0037	0.18	0.12	0.06	0.00	11.60	2.09	1.39	0.69	0.00	16.4	1.74	1.04	0.35	28.46	17.08	5.69	51.23
C-D	0.0122	0.65	0.44	0.22	0.01	8.540	5.55	3.73	1.91	0.09	17.4	4.64	2.82	1.00	80.89	49.13	17.37	147.39
D-E	0.0052	0.01	0.00	0.00	0.00	7.70	0.08	0.05	0.03	0.00	0.6	0.06	0.04	0.01	0.04	0.02	0.01	0.07
C-15'	0.0070	0.65	0.46	0.27	0.08	10.55	6.86	4.85	2.85	0.84	27.1	5.86	3.85	1.85	158.48	104.23	49.97	312.68
G-14	0.0070	0.18	0.12	0.06	0.00	8.40	1.51	1.01	0.50	0.00	8.5	1.26	0.76	0.25	10.77	6.46	2.15	19.39
15'-14	0.0079	0.08	0.05	0.03	0.00	8.50	0.68	0.45	0.23	0.00	3.3	0.57	0.34	0.11	1.89	1.14	0.38	3.41
B-38	0.0127	0.50	0.33	0.17	0.00	11.00	5.46	3.64	1.82	0.00	13.0	4.55	2.73	0.91	59.00	35.40	11.80	106.20
B-B5	0.0008	0.50	0.48	0.46	0.45	6.70	3.32	3.21	3.10	2.99	20.1	3.27	3.16	3.05	65.59	63.39	61.20	190.17
A - B5	0.0634	0.45	0.29	0.15	0.00	6.70	2.99	1.99	0.99	0.00	2.4	2.50	1.50	0.50	5.87	3.52	1.17	10.57
D' - 15	0.0116	0.08	0.05	0.03	0.00	11.00	0.88	0.59	0.29	0.00	2.3	0.73	0.44	0.15	1.69	1.02	0.34	3.05
15-A'	0.0021	0.08	0.05	0.03	0.00	6.00	0.48	0.32	0.16	0.00	12.8	0.40	0.24	0.08	5.11	3.06	1.02	9.19
15-13'	0.0019	0.08	0.05	0.03	0.00	8.00	0.64	0.43	0.21	0.00	13.5	0.53	0.32	0.11	7.20	4.32	1.44	12.95
																		1364

Fuente: Elaboración propia.



En la tabla 26 solo se han evaluado los tramos de calles que llegan a una cota de 28.607 m.s.n.m. En este caso, la altura de inundación máxima (h_1) es 0.65 m, que viene a ser el desnivel entre las cotas 28.607 m.s.n.m y 27.957 m.s.n.m.

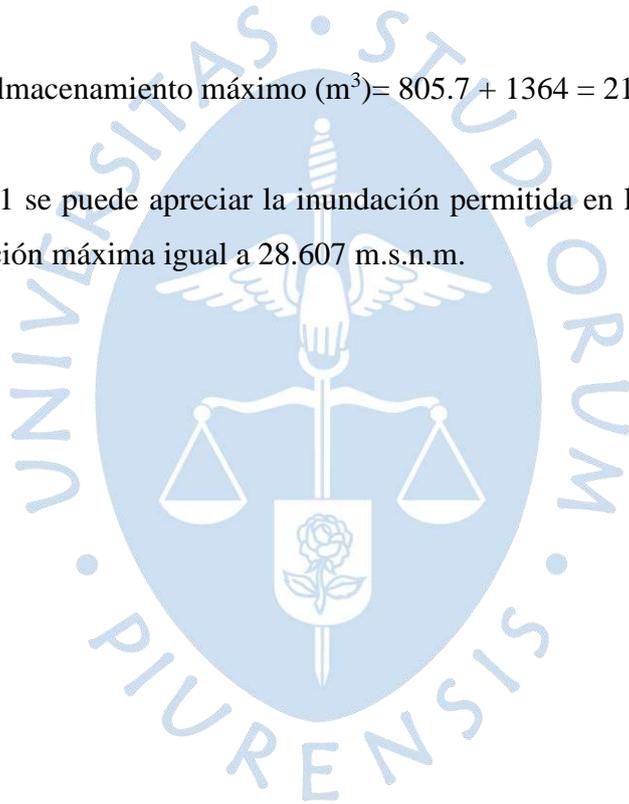
Al volumen que se calcula en la tabla 26 se le debe sumar el volumen del estanque al nivel de la cota de inundación de 28.607 m.s.n.m.

Cota de fondo del estanque = 25.6 m.s.n.m

Volumen del estanque inundado (m^3)= 805.7

Volumen de almacenamiento máximo (m^3)= 805.7 + 1364 = 2169.8

En la figura 71 se puede apreciar la inundación permitida en las calles, estableciendo como cota de inundación máxima igual a 28.607 m.s.n.m.



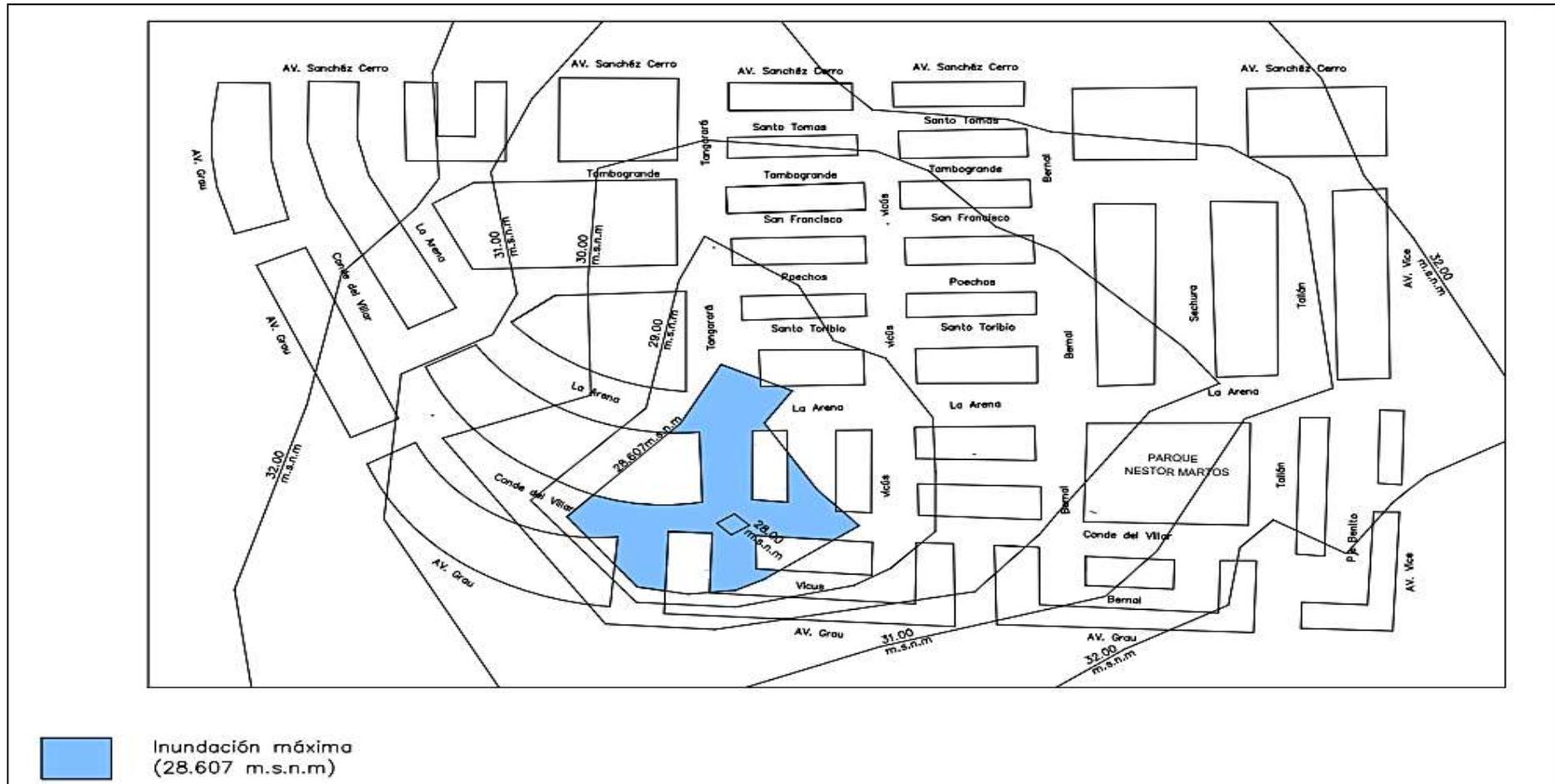


Figura 71. Curvas de nivel de inundación máxima a 28.607 m.s.n.m para un $Tr=25$ años
 Fuente: Elaboración propia

De igual forma se procedió a variar las cotas de inundación para encontrar sus respectivos volúmenes de almacenamiento (tabla 27):

Tabla 27. Volumen de almacenamiento vs altura de inundación máxima

Cota de inundación (m.s.n.m)	Altura de inundación máxima h_1 (m)	Volumen de inundación (m^3)
28.607	0.65	2169.84
28.557	0.60	1943.39
28.507	0.55	1753.29
28.457	0.50	1585.75
28.407	0.45	1436.75
28.357	0.40	1300.26
28.307	0.35	1174.79
28.257	0.30	1060.35
28.207	0.25	956.94
28.157	0.20	864.59
28.107	0.15	794.57
28.057	0.10	746.91
28.007	0.05	715.03
27.982	0.02	703.48

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.3 Selección de bombas. Lo que se busca es seleccionar las bombas con la finalidad de generar un almacenamiento que no sobrepase el nivel de inundación máximo, es decir, que el volumen de inundación menos el volumen bombeado no exceda el volumen de almacenamiento máximo:

$$V_{\text{almacenamiento maximo}} \geq V_{\text{inundable}} - V_{\text{bombeado}} \quad (5.1)$$

Se debe tener en cuenta que otra de las finalidades de este proyecto es trabajar con bombas de capacidad variable, las cuales van a servir para bombeos de menor capacidad como para tormentas menores. Gracias a la tabla 27 se puede realizar una interpolación lineal y hallar la altura de inundación para cualquier volumen de almacenamiento. Por último, en la tabla 28 se muestran los cálculos para la selección de las bombas.

Tabla 28. Selección de bombas en función del tiempo

Capacidad de las bombas (L/S)	To (min)	Tf (min)	Duración (min)	Volumen bombeado(m ³)	Volumen producido(m ³)	Volumen inundable(m ³)	Volumen almacenado(m ³)	H inundación (m)
1200	60	76	16	1152	3290	3290	2138	0.64
1000	76	110	34	2040	1924	4062	2022	0.60
600	110	140	30	1080	268	2290	1210	0.36
400	140	165	25	600	34	1245	645	0.00
100	165	200	35	210	0	645	435	0.00

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 72, para una mejor comprensión, se puede visualizar como va variando el volumen de agua almacenado de acuerdo al funcionamiento de las bombas en el tiempo.

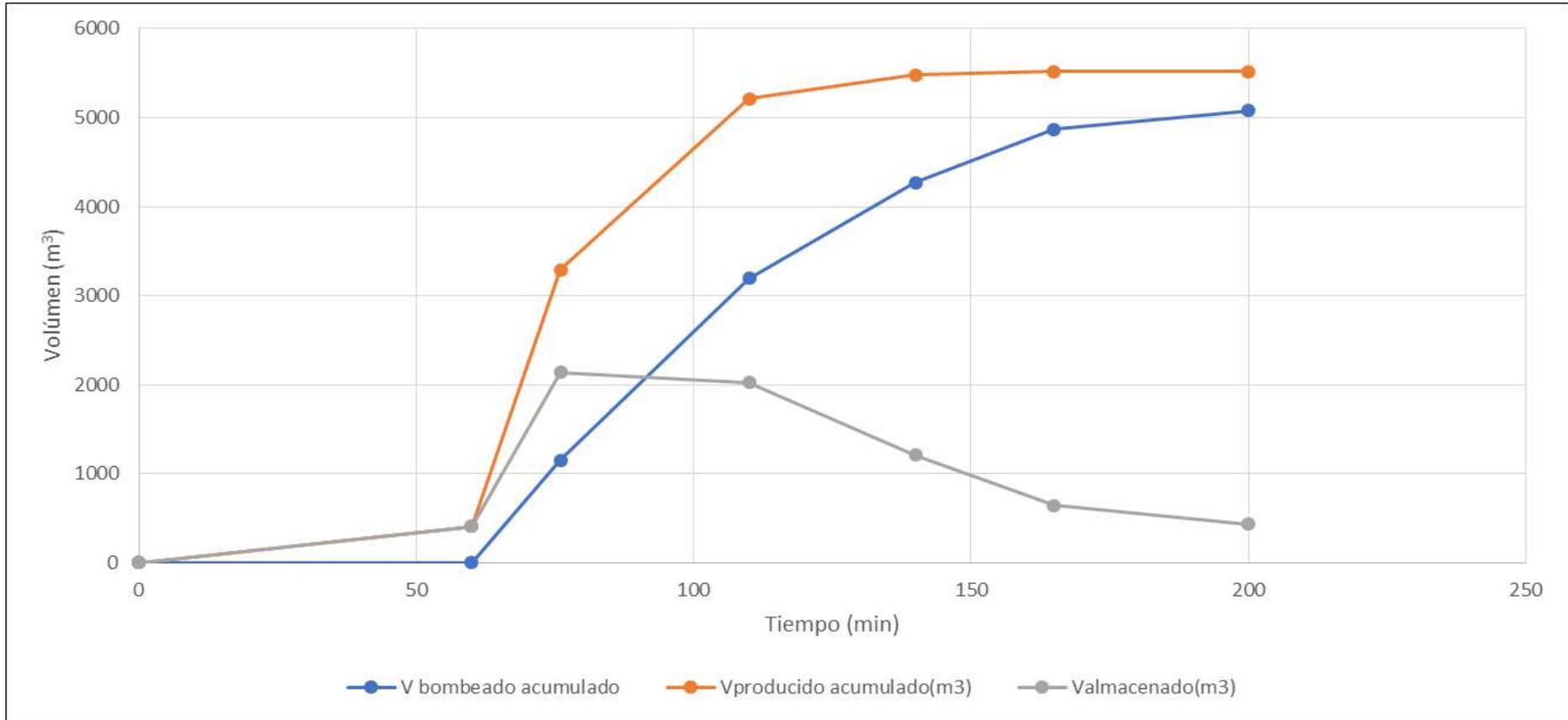


Figura 72. Volumen almacenado vs tiempo
Fuente : Elaboración propia.

- El volumen bombeado es el volumen retirado de la urbanización, por las bombas centrífugas, durante cierto periodo de tiempo:

$$V_{bombeado} = Q_{bombas} \times Duración \quad (5.2)$$

- El volumen producido es la cantidad de agua que se produce por la tormenta.
- El volumen inundable es la cantidad de agua lluvia acumulada; es decir, el volumen de agua que se produce por la tormenta más el volumen de agua que se tiene almacenado.

$$V_{i \text{ inundable}} = V_{i \text{ producido}} + V_{(i-1) \text{ almacenado}} \quad (5.3)$$

- El volumen almacenado viene a ser la diferencia entre el volumen inundable y el volumen bombeado.

$$V_{i \text{ almacenado}} = V_{i \text{ inundable}} - V_{i \text{ bombeado}} \quad (5.4)$$

- La altura de inundación es el nivel de agua hasta donde se llega debido al volumen de agua almacenado. La altura máxima es 0.65 m para que no ocurran daños, pero lo que se busca es trabajar con niveles que no superen al nivel máximo.
- En la figura 72 se puede apreciar el volumen que se va almacenando durante todo el tiempo, la cual en ningún momento excede el volumen máximo de inundación.

Según la tabla 28 las bombas entrar a trabajar dentro de un rango de tiempo, pero si bien es cierto todas las tormentas que se originan en la cuenca no son de igual magnitud a la tormenta trabajada en este proyecto, por lo que no se puede afirmar con tal seguridad que cierta capacidad de bombas debe entrar a funcionar en el rango de tiempo calculado. Por ello en vez de trabajar con rangos de tiempos, se ha establecido trabajar con alturas de inundación o cotas de inundación; para esto, se ha construido un “hito” en el punto más bajo, tal y como se muestra en la figura 73, señalando los niveles o cotas de inundaciones calculadas en la tabla 28.

Cada color representa un nivel o cota de inundación, el cual nos va indicar la capacidad de las bombas que deben entrar en operación de acuerdo a la tabla 29.

El sistema de funcionamiento de las bombas va ser un sistema en paralelo y manual, el cual nos ayuda seleccionar bombas de distintas capacidades y con la combinación de estas poder alcanzar la capacidad máxima que se requiere en cada rango de inundación.

Se estableció trabajar como máximo con 1 bomba de 400 l/s, 1 bomba de 300 l/s, 2 bombas de 200 l/s y 1 bomba de 100 l/s.

- Durante los primeros tiempos de duración de la tormenta, donde el incremento de agua es muy rápido, se van emplear todas las bombas ya que se requiere la capacidad máxima calculada de 1200 l/s y esto se expresa en el hito a partir de la cota de 28.007 m.s.n.m hasta la cota de 28.607 m.s.n.m.
- Luego, cuando el incremento de la tormenta disminuye, solo se apaga una bomba de 200 l/s y se dejan en funcionamiento las demás. En el hito se muestra cuando se disminuye de la cota de 28.607 m.s.n.m hasta la cota de 28.557 m.s.n.m.
- Posteriormente cuando se alcanza un nivel entre las cotas de 28.57 m.s.n.m hasta 28.507 m.s.n.m se apaga la bomba de 400 l/s y se deja en función la bomba de 300 l/s, 1 bomba de 200 l/s y la bomba de 100 l/s.
- Cuando ya no se genera volumen de agua por la tormenta solo se mantiene prendido la bomba de 300 l/s y la de 100 l/s hasta alcanzar una cota de 28.00. A partir de aquí solo se almacena agua en el estanque.
- Finalmente, para evacuar el poco volumen de agua almacenado se hace uso de 1 bomba de 100 l/s.

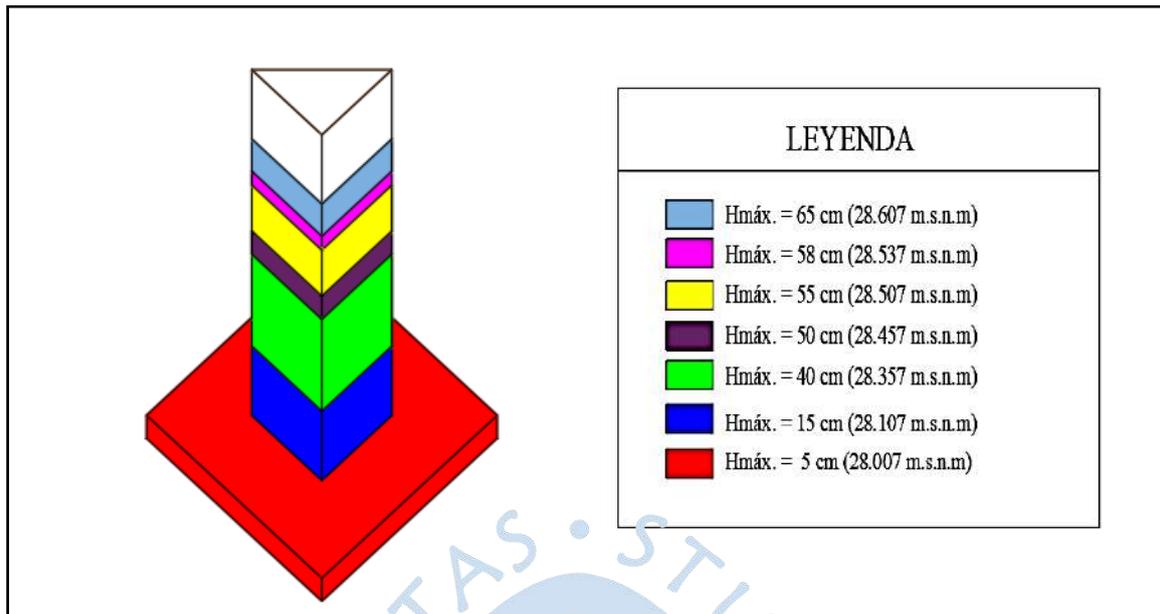


Figura 73. Hito de niveles o cotas de inundación
Fuente: Elaboración propia

5.3 Modelo de las bombas

Para la selección del modelo de las bombas nos hemos basado en el catálogo de las bombas centrífugas de la empresa “Hidrostaal”. Dentro de estas bombas, solo las bombas de doble succión logran trabajar con los caudales que se requieren. Para la selección de la bomba se ha tenido en cuenta lograr la mayor eficiencia posible.

Para fines prácticos de este proyecto, se ha despreciado las pérdidas (tanto de la tubería como la de los accesorios) y la energía cinética por ser muy pequeñas.

En las figuras 74, 75 y 76 se aprecian las curvas de operación de cada bomba seleccionada, las cuales nos van a servir para selección de sus características (ver tabla 29).

La altura mínima de la bomba (H_b) es aproximadamente 10 metros.

- Para un caudal de 400 l/s:

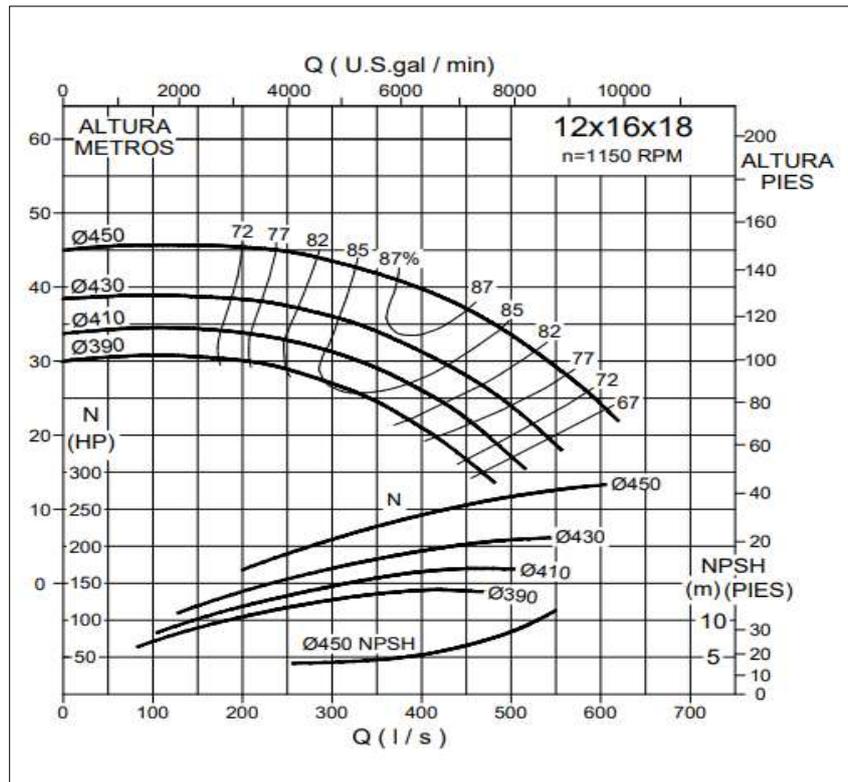


Figura 74. Curva de operación-bomba de doble succión 12x16x18 (1150 RPM)
Fuente: Hidrostral, 2017.

- Para un caudal de 300 l/s:

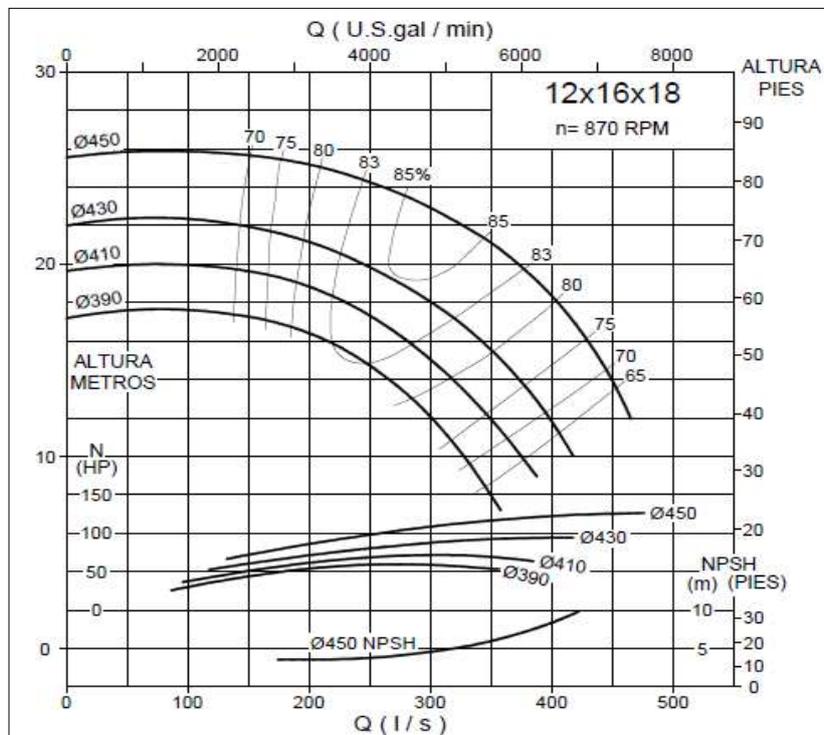


Figura 75. Curva de operación-bomba de doble succión 12x16x18 (870 RPM)
Fuente: Hidrostral, 2015.

- Para un caudal de 200 l/s y 100 l/s:

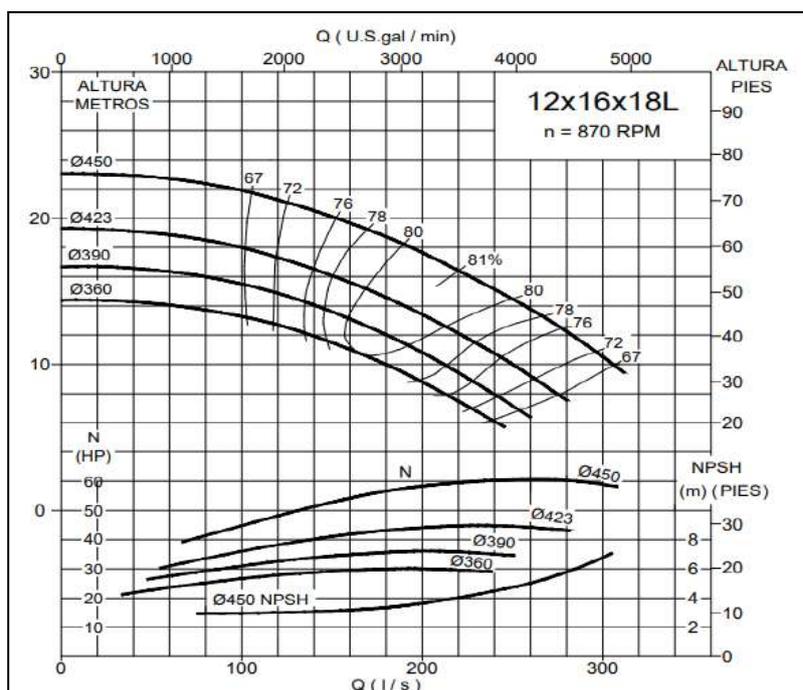


Figura 76. Curva de operación-bomba de doble succión 12x16x18L (870 RPM)
Fuente: Hidrostral,2015.

Tabla 29. Características de las bombas seleccionadas

Modelo	Q(l/s)	Potencia (HP)	Diámetro de succión(mm)	NPSH _r ⁵ (m)
12x16x18 (1150 RPM)	400	140	390	5.0
12x16x18 (870 RPM)	300	75	410	4.8
12x16x18L (870 RPM)	200	35	390	4.0
12x16x18L (870 RPM)	100	25	360	3.5

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en el plano N°1 del apéndice E se puede apreciar el diseño completo del Sistema de drenaje pluvial de la urbanización El Chilcal.

⁵ NPSH (Altura Neta Positiva en la Aspiración,), el NPSH_r está relacionado con la mínima energía que se necesita para evitar la cavitación en una bomba.



Capítulo 6

Evaluación ambiental preliminar

La presente evaluación ambiental preliminar tiene por finalidad predecir, identificar, calificar, valorar y corregir las consecuencias o efectos ambientales de determinadas acciones o actividades que pueden incidir en la calidad de vida de los moradores de la urbanización El Chilcal y su entorno durante la fase de construcción del proyecto.

6.1 Situación inicial

La urbanización El Chilcal tiene un sistema de drenaje pluvial deficiente, presenta alcantarillas en mal estado, en ciertos tramos la ausencia de estas ha provocado que los vecinos coloquen llantas para cubrir los huecos. Toda la zona está pavimentada por losas de concreto o adoquines, sin embargo, hay tramos de pistas que no han sido repuestas después de un trabajo realizado. La cuenca El Chical se encuentra rodeada por vías principales de Piura, por lo tanto, el tránsito vehicular y su ruido es constante. Tiene cerca el parque Néstor Martos, el cual alberga aves propias de la región, así como plantas y árboles.

6.2 Alcances

Esta tesis plantea el uso de lo siguiente:

- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.50m y 8.6m de longitud, ubicada en la Jr. Conde del Villar (tramo B – C).
- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.5m y 8m de longitud, ubicada en la Jr. Tangarará (tramo 15' – C).
- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.5m y de 7.1m de longitud, ubicada en la Jr. Conde del Villar (tramo G – C).

- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.8m y de 38.1m de longitud, ubicada en la Jr. Conde del Villar (tramo C – B).
- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.8m y de 84.51m de longitud, ubicada en el tramo B – A.
- Alcantarilla de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.8 m y de 8.2m de longitud, ubicada en la Av. Grau.
- Estación de bombeo conformada por 5 bombas y caseta de bombeo, ubicada en Av. Grau.
- Tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio con diámetro de 0.4 m y 6 m de longitud, ubicada en el tramo C – D.

6.3 Área de influencia

El área de influencia es el espacio en el que un elemento urbano influye, es el territorio donde potencialmente se manifestarán los impactos que afectan al medio ambiente. Dicha área puede ser de influencia directa o indirecta.

6.3.1 Área de influencia directa

Se determina como área de influencia directa al territorio donde pueden manifestarse significativamente los efectos sobre los medios naturales, debidos a la implantación y operación del proyecto.

El área de influencia directa en esta tesis ha sido definida por el área que pertenece a los elementos del ambiente afectados de forma directa por la construcción de las estructuras mencionadas en los alcances.

6.3.2 Área de influencia indirecta

El área de influencia indirecta está formada por la zona aledaña al área de trabajo, dentro de la cuenca El Chilcal. Su extensión dependerá del alcance de los impactos indirectos del proyecto en ejecución, por lo que la superficie geográfica será mayor.

6.4 Identificación y evaluación de los impactos

Un impacto ambiental es una alteración, modificación o cambio positivo o negativo de la calidad del medio ambiente o de alguno de sus componentes.

Es importante identificar y evaluar los impactos para determinar qué actividades del proyecto pueden producir alteraciones en los componentes ambientales del área de influencia, como se aprecia en la tabla 30.

Tabla 30. Impactos ambientales identificados

componente ambiental	subcomponente ambiental	factor ambiental
Abiótico	aire	alteración de la calidad del aire
		incremento de los niveles de presión sonora
	suelo	alteración de la calidad de suelo
		erosión
		alteración del paisaje natural
paisaje	alteración del paisaje natural	
	geomorfología	generación de taludes inestables
Biótico	flora	alteración de la cobertura vegetal existente
	fauna	alteración de las especies existente en el lugar
Socio - económico	social	problemas en el acceso a ciertas viviendas y tránsito vehicular
		afectación de la salud, tranquilidad e integridad física de los pobladores
		aumento de empleo
		desarrollo de la comunidad
		disminución de posibles enfermedades
		restitución de servicios

Fuente: Elaboración Propia.

6.5 Metodología para la evaluación de impacto ambiental

Existen diferentes métodos, metodologías y procedimientos para evaluar los impactos ambientales, ya sea para evaluar el estado del medio Ambiente en general o para evaluar específicamente alguno de sus factores.

Soriano, Ruiz M. y Ruiz E. (2015) establecieron lo siguiente: “el método matricial son técnicas bidimensionales que relacionan acciones con factores ambientales; y son básicamente de identificación. Los métodos matriciales, también denominados matrices interactivas causa-efecto, fueron los primeros en ser desarrollados para la EIA. La modalidad más simple de estas matrices muestra las acciones del proyecto en un eje y los factores del medio a lo largo del otro (p.102).

6.6 Determinación de la importancia de los efectos

Soriano, Ruiz M. y Ruiz E. (2015) explicaron que “la importancia se obtiene a partir del grado de incidencia de la alteración producida, y de una caracterización del efecto que responde a una serie de atributos tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, entre otros” (p.104).

La importancia de los impactos se calcula con la ecuación (Soriano, Ruiz M. y Ruiz E, 2015):

$$I = \pm(3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RB) \quad (6.1)$$

Cada Impacto podrá clasificarse de acuerdo a su importancia I como:

- Irrelevante o Compatible: $0 \leq I < 25$
- Moderado: $25 \leq I < 50$
- Severo: $50 \leq I < 75$
- Crítico: $I \geq 75$

Las variables para la determinación de la importancia de los impactos son las siguientes:

1. Naturaleza:

- Positivo: cuando produce un efecto beneficioso.
 - Negativo: se traduce en pérdida de la calidad de un factor ambiental.
2. Intensidad (I):
- Notable: expresa una destrucción casi total del factor considerado.
 - Bajo: cuyo efecto es una destrucción mínima del factor considerado.
 - Medio: cuyo efecto se manifiesta como una alteración del medio ambiente o de algunos de sus factores, cuyas repercusiones en los mismos se consideran situados entre los niveles anteriores.
3. Extensión (EX):
- Puntual: es un efecto localizado.
 - Parcial: efecto que supone una incidencia apreciable en el medio.
 - Extremo: su efecto se encuentra en una gran parte del medio considerado.
 - Total: su efecto se manifiesta localizado en todo el entorno considerado.
 - Crítica: el impacto se produce en una situación crítica.
4. Momento (MO):
- Largo plazo: Su duración se extiende superando los 5 años
 - Medio plazo: El intervalo de duración es de 1 a 5 años
 - Inmediato: Plazo de tiempo entre el inicio y el de la manifestación del impacto es cero.
 - Crítico: En el momento en el que se manifiesta es crítico.
5. Persistencia (PE):
- Fugaz: su duración de efecto es menor a 1 año.
 - Temporal: su duración es de 1 a 3 años.
 - Permanente: el impacto permanece en el tiempo.

6. Reversibilidad (RV):

- Corto plazo: cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa de prácticas correctoras o protectoras.
- Medio plazo: efecto en que la alteración puede paliarse o mitigarse de una manera ostensible mediante el establecimiento de medidas correctoras.
- Irreversible: aquél cuyo efecto supone una imposibilidad o dificultad extrema de retornar por medios naturales a la situación anterior a la acción que la produce.

7. Sinergia (SI):

- Sin sinergismo: cuyo efecto se manifiesta sobre un solo componente ambiental.
- Sinérgico: efecto conjunto de la presencia de varias acciones supone una incidencia ambiental mayor.
- Muy Sinérgico: efecto que al prolongarse en el tiempo la acción del agente inductor, incrementa progresivamente su gravedad.

8. Acumulación (AC):

- Simple: incremento simple del efecto que produce la acción.
- Acumulativo: incremento progresivo del efecto al prolongarse la acción que lo produce.

9. Efecto (EF):

- Indirecto: cuyo efecto supone una incidencia inmediata respecto a la interdependencia o, en general a la relación de un factor con otro.
- Directo: cuyo efecto tiene una incidencia inmediata en algún factor ambiental.

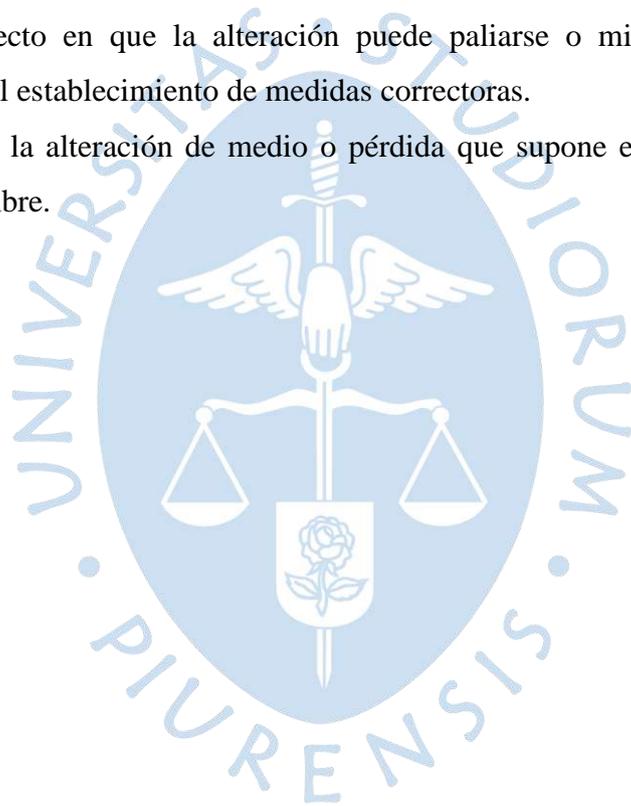
10. Periodicidad (PR):

- Irregular: su efecto se manifiesta a través de alteraciones irregulares en su permanencia.

- Periódico: su efecto se manifiesta con un modo de acción intermitente y continua en el tiempo.
- Continuo: su efecto se manifiesta a través de alteraciones regulares en su permanencia.

11. Recuperabilidad (RB):

- Recuperable de manera inmediata: cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa de prácticas correctoras o protectoras.
- Recuperable a medio plazo: la alteración puede ser asimilada por el entorno de forma medible.
- Mitigable: efecto en que la alteración puede paliarse o mitigarse de una manera ostensible mediante el establecimiento de medidas correctoras.
- Irrecuperable: la alteración de medio o pérdida que supone es imposible de reparar, por la acción del hombre.



En la tabla 31 se muestra la valoración de las variables para el cálculo de la importancia del impacto.

Tabla 31. valoración de las variables para el cálculo de la importancia del impacto

NATURALEZA		INTENSIDAD (I)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX)		MOMENTO (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Critica	(+4)		
PRESISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA (SI)		ACUMULACIÓN (AC)	
Sin Sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)	
Indirecto (secundario)	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (RB)			
Recuperable de manera inmediata	1		
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		
		$I = \pm(3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RB)$	

Fuente: Soriano et al, 2015.

6.7 Análisis de la matriz de calificación de impactos

En los estudios de impacto ambiental los impactos se identifican y valoran de acuerdo a las diferentes etapas del proyecto, que son etapa de construcción, operación y cierre, siendo la valoración final la suma de los impactos en las tres etapas. Sin embargo, para esta evaluación ambiental preliminar, se considerará solo el análisis de la etapa de construcción del proyecto por ser la más perjudicial.

Según los resultados obtenidos de la matriz de impactos de la tabla 32, podemos resumir que el proyecto tendrá un efecto negativo de carácter moderado o irrelevante sobre el medio ambiente. Siendo los principales impactos negativos la alteración del suelo y la incomodidad de los vecinos para acceder a sus viviendas y el tránsito vehicular.

Por otro lado, entre los impactos positivos que se obtendrán está la disminución de enfermedades respiratorias o cutáneas durante fenómenos lluviosos. Así mismo, significará un aumento de empleos en el periodo que dure dicho proyecto, con ello se lograrán mejoras en la calidad de vida y un gran desarrollo en el área.

En la tabla 32 se puede observar detalladamente los resultados de los impactos.

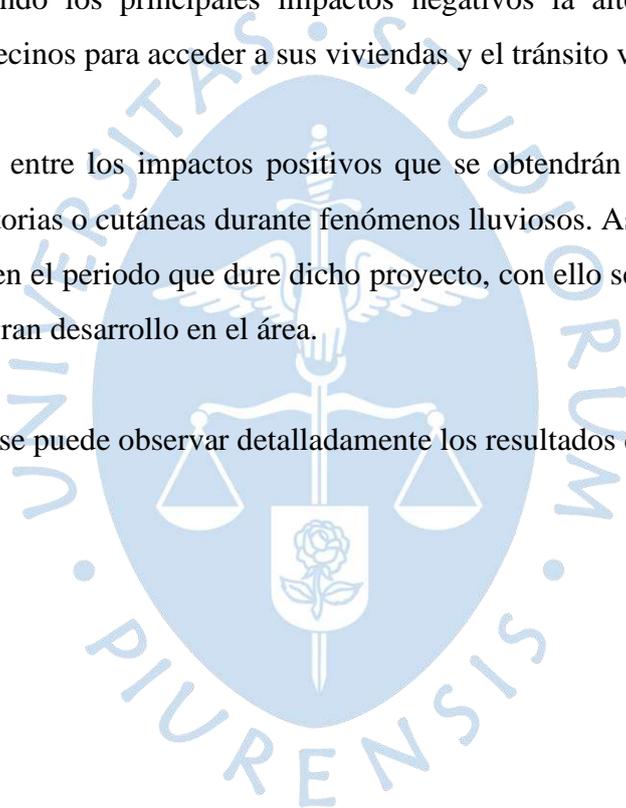


Tabla 32. Estudio de Impacto Ambiental de construcción del sistema de drenaje pluvial en la urbanización El Chilcal

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS														
medio	impactos	naturaleza	intensidad	extensión	momento	persistencia	reversibilidad	sinergia	acumulación	efecto	periodicidad	recuperabilidad	importancia	tipo de impacto
		±	I	EX	MO	PR	RV	SI	AC	EF	PR	RB	I	
Abiótico	Alteración de la calidad del aire	(-)	2	1	4	1	1	2	4	1	2	1	24	irrelevante
	Incremento de los niveles de presión sonora	(-)	4	2	4	1	1	2	1	4	2	1	32	moderado
	Alteración de la calidad de suelo	(-)	8	2	4	2	4	1	1	1	2	4	47	moderado
	Erosión	(-)	4	2	2	1	4	2	4	4	4	4	41	moderado
	Alteración del paisaje natural	(-)	4	2	4	1	1	2	4	4	2	1	35	moderado
	Generación de taludes inestables	(-)	4	2	2	1	2	2	4	4	4	2	37	moderado

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS															
medio	impactos	naturaleza	intensidad	extensión	momento	persistencia	reversibilidad	sinergia	acumulación	efecto	periodicidad	recuperabilidad	importancia	tipo de impacto	
		±	I	EX	MO	PR	RV	SI	AC	EF	PR	RB	I		
Biótico	Alteración de la cobertura vegetal existente	(-)	2	2	4	1	2	1	1	1	2	2	24	irrelevante	
	Alteración de las especies existente en el lugar	(-)	4	2	4	2	1	4	4	1	4	2	38	moderado	
Socio - económico	Problemas en el acceso a ciertas viviendas y tránsito vehicular	(-)	8	2	4	1	1	2	2	4	2	2	46	moderado	
	Afectación de la salud, tranquilidad e integridad física de los pobladores	(-)	2	2	2	1	1	1	1	4	2	1	23	irrelevante	
	Aumento de empleo	(+)	8	4	4	1	4	4	4	1	4	4	58	severo	
	Desarrollo de la comunidad	(+)	10	4	2	4	4	4	2	2	1	4	2	59	severo
	Disminución de posibles enfermedades	(+)	10	4	4	4	4	4	2	2	1	4	2	61	severo
	Restitución de servicios	(-)	2	2	4	1	1	1	1	1	1	4	1	24	irrelevante

Fuente: Elaboración propia.

6.8 Medidas de prevención, mitigación y/o corrección de impactos

6.8.1 Plan de manejo ambiental

Teniendo en cuenta los aspectos ambientales generadores de impactos ambientales en las etapas de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, se plantea el siguiente plan de manejo ambiental para prevenir, verificar, atenuar y neutralizar los probables impactos ambientales:

- Evaluar las acciones posibles de realizar para aquellas actividades que, según lo detectado en la valoración cualitativa de impactos, impliquen un impacto no deseado.
- Para el problema en el acceso a ciertas viviendas y el tránsito vehicular, así como para la alteración de la calidad del suelo se darán instrucciones de trabajo de tal manera que, los caminos de acceso que se tracen minimicen la perturbación del terreno.
- Descripción de los impactos positivos, a fin de mantener y potencializar los mismos durante las fases del proyecto.
- Detectar impactos no previstos, en el desarrollo de las actividades del proyecto, a fin de proponer las medidas mitigadoras adecuadas.

6.8.2 Plan de prevención y mitigación de impactos

Se tiene como finalidad prevenir y mitigar los impactos ambientales que generarían potenciales riesgos de contaminación ambiental, debidos a la ejecución del proyecto de mejoras del sistema de alcantarillado pluvial del área urbana El Chilcal - Piura.

El plan de medidas de prevención, mitigación, reparación y compensación ambiental de un proyecto o actividad deberá contener, cuando proceda, uno o más de los siguientes planes (Calle & Pulgar, 2010):

- Medidas preventivas, las que evitarán la aparición de los efectos.
- Medidas correctivas de impactos recuperables, dirigidas a anular o atenuar o corregir las acciones.
- Medidas compensatorias de impactos irrecuperables.

6.8.3 Programa de monitoreo

El plan de seguimiento y monitoreo ambiental de un proyecto o actividad tiene por finalidad asegurar, que las variables ambientales relevantes que dieron origen al estudio de impacto ambiental evolucionan según lo establecido en la documentación que forma parte de la evaluación respectiva (Vega, Arellano & Vega, 2015).

La operación del proyecto de sistema de alcantarillado en la urbanización El Chilcal – Piura se efectuará con un seguimiento minucioso para constatar que se cumplan las exigencias necesarias de acuerdo al plan de manejo ambiental. Este seguimiento será tanto visual como con ayuda de instrumentos.

6.8.4 Plan de contingencia

El Plan de Contingencia es una herramienta de gestión que debe ser previsto e implementado para una adecuada respuesta a emergencias y eventualidades que se presenten durante la construcción de las mejoras del sistema de alcantarillado pluvial de la urbanización el Chilcal.

Este plan esquematiza las acciones para enfrentar los fortuitos accidentes y emergencias en el área de construcción o por el manejo de insumos, basado en un análisis de riesgos.

6.8.5 Plan de seguridad y salud en el trabajo

No se puede obviar que, en el desarrollo de las actividades operacionales, siempre existe la probabilidad de que sucedan accidentes o condiciones de riesgo para el personal que presta sus servicios. Por ello, se propone crear condiciones laborales y ambientales seguras de tal manera que los trabajadores puedan laborar con un menor riesgo evitando afectar así su integridad, brindando de esta manera las garantías de seguridad y salud ocupacional requeridas.

6.8.6 Plan de relaciones comunitarias

Este plan consiste en regular la relación entre la población y los ejecutores del proyecto, además de mitigar y negociar los impactos ambientales del proyecto, que como tal afectan directamente a la población que habita en el área de trabajo.

Se debe identificar, entender y manejar los aspectos sociales claves en relación al proyecto, a fin de regular las relaciones entre pobladores, ayudando a gestionar cualquier controversia o reclamo, que se pueda presentar a lo largo de las actividades del mismo. El plan de relaciones comunitarias contendrá los siguientes aspectos particulares del caso:

- Política de Prevención Social y Manejo de Impactos
- Capacitaciones
- Política de Responsabilidad Social
- Definición de responsabilidades y funciones
- Comunicación
- Adquisiciones y empleo

6.9 Plan de abandono

Un plan de abandono abarca una restauración ecológica, morfológica y biológica de los recursos naturales afectados, tratando de devolverle la forma que tenía la zona antes de empezar actividades del proyecto, en todo caso mejorarla; una vez concluida la vida útil del proyecto (Calle & Pulgar, 2010).

Para el caso de abandono general de las instalaciones este plan tiene la finalidad de realizar actividades específicas dirigidas a recuperar en sitio, para que recobre las características naturales que alguna vez existieron. Además, el cierre y abandono es el conjunto de actividades que deberán ejecutarse, para devolver a su estado inicial las zonas intervenidas por la construcción del proyecto.

El presente plan será ejecutado por el contratista, y sus lineamientos podrán ser revisados, cambiados y mejorados, considerando la situación legal y técnica que se presente en la época de su ejecución.

Conclusiones

En el capítulo 4 se desarrolló tanto el método racional como el método del hidrograma unitario debido a que, con el método racional se calculó el caudal de escorrentía que le llega a cada tramo de calle y así se pudo diseñar las tuberías y cunetas correspondientes; con el segundo método se obtiene el hidrograma, el cual es muy útil para la selección de las bombas centrífugas. El caudal total de la cuenca, según el método racional, es de $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal total, según el método del hidrograma unitario, es de $7.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Ambos caudales son aproximados.

Dentro de la cuenca El Chilcal, nuestra zona de interés es la urbanización El Chilcal debido a que es el área donde convergen todas las aguas pluviales. Dicha urbanización solo cuenta con alcantarillado sanitario, este sistema no posee la capacidad suficiente para captar y drenar las aguas pluviales.

El sistema actual consiste en la utilización de 4 bombas de 200 l/s cada una, logrando evacuar un máximo de 800 l/s , y el uso de un estanque de almacenamiento de 575 m^3 aproximadamente. Esta tesis logra mejorar la capacidad del sistema de bombeo, alcanzando evacuar un máximo de 1200 l/s y aumentando la capacidad de almacenamiento del estanque a 985 m^3 .

El diseño empleado permitirá un almacenamiento máximo hasta una cota de 28.609 m.s.n.m , nivel no llegará afectar a los ciudadanos. Con esto se está disminuyendo el volumen a evacuar por la red de drenaje y a la vez se reduce la capacidad hidráulica de las bombas a emplearse.

Cabe resaltar que el almacenamiento parcial del volumen de la tormenta es un almacenamiento momentáneo, hablando en términos de tiempo, esto no significa que el volumen estará almacenado por tiempos prolongados ya que de lo contrario los

habitantes de la zona estarían expuestos a cualquier tipo de enfermedades por transmisión de insectos debido a la acumulación de agua de lluvia y por la descomposición de materia orgánica.

Uno de los criterios para la selección de las bombas ha sido trabajar con bombas de diferentes capacidades de caudal ya que no todas las tormentas son de igual magnitud, es por ello que se han establecido bombas de 400 l/s, 300 l/s, 200 l/s y de 100 l/s. El sistema actual es insuficiente cuando ocurre el Fenómeno El Niño, logrando inundar una gran cantidad de casas; y cuando ocurren tormentas muy pequeñas el funcionamiento de 1 bomba de 200 l/s resulta un poco excesivo. Al establecer bombas de diferentes capacidades de caudal, se puede trabajar con tormentas de distintas magnitudes en función a una altura de inundación.



Recomendaciones

Debido a la falta de conocimiento del comportamiento de los flujos de escorrentía dentro de las calles, se ha tomado como referencia el comportamiento de los flujos en bocatomas con bifurcaciones a 90°. Sin embargo, para mejores resultados es recomendable realizar una simulación del flujo de los caudales de escorrentía dentro de las calles para conocer el comportamiento de los caudales.

La elaboración de presupuesto del proyecto no corresponde a los objetivos de la presente tesis, por requerir todo un análisis muy especial. Para trabajos futuros, se recomienda elaborar dicho presupuesto y compararlo con el presupuesto de otros proyectos para ver cuál es mucho más factible para poner en marcha, siendo este un posible tema para una nueva tesis.

El dren Cesar Vallejo no tienen capacidad para evacuar simultáneamente las aguas de las cuencas El Chilcal e Ignacio Merino, por lo cual se recomienda hacer un rediseño del Dren Cesar Vallejo, ampliando su capacidad.

Se debe concientizar a la población sobre el cuidado de las estructuras y el mejoramiento de la gestión de residuos sólidos. De esta manera se mantiene operativo el sistema de drenaje pluvial.

Dar mantenimiento a dichas estructuras periódicamente para garantizar su seguridad y funcionalidad adecuada, especialmente cuando ocurren eventos grandes como el Fenómeno El Niño.



Referencias bibliográficas

- AACHCHP, IRAGER & PDRS/GTZ (s.f.). *Sistema de Gestión de la Cuenca del Río Piura: Diagnostico Participativo de la Cuenca del Río Piura con Enfoque de Gestión del Riesgo*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/34/ANA0000538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Abellán, A. (2016). *Iagua*. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>
- Aparicio, F. (1987). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa-Grupo Noriega editores.
- Alvarado, E. (2004). *Modelación del proceso lluvia escorrentía usando sistemas de información geográfica* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Bateman, A. (2007). *HIDROLOGÍA BASICA Y APLICADA*. Recuperado de <https://www.upct.es/~minaeees/hidrologia.pdf>
- Calle, I. & Pulgar, M. (2010). *Manual de Legislación Ambiental*. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
- Castilla, A. & Galvis, G. (1993). *Bombas y estaciones de bombeo*. Cali: Ultragraf Editores. Recuperado de <https://es.ircwash.org/sites/default/files/230-93BO-12370.pdf>
- CENEPRED (2017). *Evaluación de riesgo en el ambiente urbano del distrito de Piura provincia y departamento de Piura*. Recuperado de http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//4023_informe-de-evaluacion-del-riesgo-de-inundacion-pluvial-y-fluvial-originado-por-lluvias-intensas-en-el-area-urbana-del-distrito-de-piura-provincia-y-de.pdf
- Chow, V. T., Maidment, D. & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: Mc. Graw-Hill.
- El fenómeno de “El Niño” (2015, 25 de noviembre). *Diario Época*. Recuperado de <http://diarioepoca.com/514732/el-fenomeno-de-el-nino/>

- El Niño Costero: Pérdidas para el agro y la ganadería superan los S/ 2,100 millones (2017, 04 de abril). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/nino-costero-perdidas-agro-ganaderia-superan-s-2-100-millones-132388-noticia/ENFEN> (2017). *Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017*. Recuperado de http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/informes/imarpe_infcto_informe__tecnico_extraordinario_001_2017.pdf
- Estas son las cifras de víctimas y destrucción que dejó el Niño Costero en 2017 en el Perú (2017, 27 de octubre). *RPP Noticias*. Recuperado de <https://rpp.pe/politica/gobierno/estas-son-las-cifras-oficiales-que-dejo-la-emergencia-por-el-nino-costero-a-nivel-nacional-noticia-1085350>
- Farias (2007). *Caudal máximo e hidrograma de diseño*. Universidad de Piura. Recuperado de https://www.academia.edu/42748167/Hidrograma_Caudales_Por_SCS
- Farías, M., & Ruiz, M. (2018). *Determinación de ecuación Intensidad Duración-Frecuencia en presencia de ENSO y Niño Costero*. Caso: ciudad de Piura. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.
- González, C. (2009). *Manejo y control de las aguas de escorrentía para mantener la calidad del agua*. Recuperado de <http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Material%20educativo/Presenta%20general%20escorrentia.pdf>
- Gómez, M. & Russo, B. (s.f). *Eficiencia hidráulica de rejillas transversales continuas*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <http://www.ingenieriadelagua.com/2004/JIA/Jia2009/fs/CP14rev.pdf>
- Google maps (s.f.). *Mapa de la urbanización El Chilcal*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <https://www.google.com/maps/@-5.1883581,-80.6448825,169m/data=!3m1!1e3>
- Hernández, M. (2018). *Diseño del drenaje pluvial y evaluación de impacto ambiental en Urb. El Chilcal de la ciudad de Piura* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Hidrostral (2015). *Bomba de doble succión*. Recuperado de <http://www.hidrostral.com.pe/pdf/catalogos/L1/CATALOGO%20LINEA-1%20DobleSuccion.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional (2016). *Norma técnica geodésica: Especificaciones técnicas para levantamientos geodésicos verticales*. Recuperado de <https://www.ign.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/ESPECIFICACIONES-TECNICAS-PARA-LEVANTAMIENTOS-VERTICALES.pdf>

- Instituto Nacional de Defensa Civil (2009). *Proyecto SEDI/AICD/AE/306/07 programa de reducción de desastres para el desarrollo sostenible en las ciudades de Piura (Perú) y Machala (Ecuador)*. Recuperado de [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INDECI/INFORME%20PRINCIPAL%20DEL%20%20ESTUDIO%20MAPA%20DE%20PELIGROS%20DE%20PIURA%20\(VOLUMEN%20I\).pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INDECI/INFORME%20PRINCIPAL%20DEL%20%20ESTUDIO%20MAPA%20DE%20PELIGROS%20DE%20PIURA%20(VOLUMEN%20I).pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2001). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población, 1950 - 2050*. Boletín de Análisis Demográfico N° 35. Lima.
- Koutoudjian, J. (s.f.). *Curso de hidrología y diseño de captaciones de aguas superficiales y meteóricas – Estaciones de bombeo, operación y mantenimiento*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: http://www.fi.uba.ar/archivos/Estaciones_de_Bombeo.pdf
- Los diez fenómenos El Niño más fuertes que golpearon el Perú (2017, 28 de marzo). *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/tendencias/diez-fenomenos-nino-fuertes-golpearon-peru-131759-noticia/?foto=4>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2011). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje* (2ª ed.). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma OS.060 Drenaje Pluvial Urbano*. Lima: El Peruano.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo(1996). *Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos*. Recuperado de http://minvuhistorico.minvu.cl/opensite_det_20070317115825.aspx
- Mongabay Latam (2017, 01 de abril). 5 Preguntas para entender el Fenómeno El Niño costero que golpea el Perú. *RPP Noticias*. Recuperado de <https://rpp.pe/blog/mongabay/5-preguntas-para-entender-el-fenomeno-el-nino-costero-que-golpea-peru-noticia-1038554?ref=rpp>
- Piura: calles, casas y negocios inundados por desborde (2017, 27 de marzo). *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/piura-calles-casas-negocios-inundados-desborde-fotos-410920-noticia/?foto=3>
- Piura: desborde del río inundó la plaza de armas (2017, 27 de marzo). *América Noticias*. Recuperado de <https://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/piura-rio-se-desbordo-y-agua-ingreso-al-centro-ciudad-n270560>

- Piura: urbanización El Chilcal se encuentra inundada tras intensas lluvias (2017, 23 de marzo). *América Noticias*. Recuperado de <https://www.americatv.com.pe/noticias/actualidad/piura-urbanizacion-permanece-inundada-intensas-lluvias-n270195>
- Prieto, J. (2017, 26 de marzo). Inundación en Piura: Desborde del río afecta a la ciudad y genera alerta. *La República*. Recuperado de <https://larepublica.pe/sociedad/859679-rio-piura-desborde-inunda-las-calles-y-llega-hasta-el-centro-historico-videos/>
- Qué es “El Niño costero” que está afectando a Perú y Ecuador y por qué puede ser el indicador de un fenómeno meteorológico a escala planetaria (2017, 14 de marzo). *BBC Mundo*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-39259721>
- Rodríguez, W. (2011). *Expediente técnico: “Mantenimiento periódico de la carretera EMP.PE-IN (Piura) – Santa Ana – Tambogrande tramo: Piura – La Obrilla”*. Recuperado de <http://gis.proviasnac.gob.pe/expedientes/2012/LP22/Expediente%20Tecnico%20Escaneado/Volumen%201%20Memoria%20Descriptiva%20y%20Estudios%20Especificos/5%20-20Estudio%20de%20hidrologia,%20hidr%C3%A1ulica%20y%20drenaje.pdf>
- Sánchez, F (s.f.). *Precipitaciones*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Sánchez, J. & Pereda, R. (2013). *Topografía y Geodesia: captura y tratamiento de desniveles*. Recuperado el 01 de mayo de 2020, de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/713/course/section/736/b1_tema2_desnivel.pdf
- Sandoval, J. (2010). *Estudio de mecánica de suelos - Proyecto: Construcción del sistema de evaluación de aguas pluviales por gravedad de la franja central de la ciudad de Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- SENAMHI. (s.f). *Fenómeno El Niño*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=fenomeno-el-nino>
- Siancas, Y. (2018). *Estudio del comportamiento de sedimentos en bifurcaciones para bocatomas, mediante modelación numérica (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil)*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- SIAPA. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades en la A.M.G.* México
- Solís, F. (2017, 15 de marzo). El "Niño Costero", el fenómeno climático que amenaza a Perú. *Meganoticias*. Recuperado de <https://www.meganoticias.cl/mundo/192581-el-nino-costero-el-fenomeno-climatico-que-amenaza-a-peru.html>

- Solorzano, R. (2016). *Principios ingenieriles básicos-bombas hidráulicas*. Recuperado de <https://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidraulicas>
- Soriano, L., Ruiz, M., & Ruiz, E. (2015). *Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Tutoriales al día. (s.f.). *Determinación de caudales máximos con el método racional*. Recuperado 01 de mayo, 2020, de: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/determinacion-de-caudales-maximos-con-el-metodo-racional/>
- Vega, R., Arellano, N., & Vega, G. (2015). *Plan de seguimiento y monitoreo ambiental*. Recuperado de <https://www.grn.cl/nosotros-grn-gestion-en-recursos-naturales.html>
- Venkateswaran, K., MacClune, K. & Enríquez, M. (2017). *El Niño Costero: Las inundaciones de 2017 en el Perú*. Recuperado de <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2594/4/Libro-PERC-nino-costero.pdf>
- White, F. (2004). *Mecánica de Fluidos (5ª ed.)*. Madrid: Mc Graw Hill
- Zapata, R. (2017, 18 de mayo). El Niño costero: piuranos siguen usando mascarillas por polvo contaminado. *El Comercio*. Recuperado de <https://elcomercio.pe/peru/nino-costero-piuranos-mascarillas-polvo-contaminado-424290-noticia/?foto=6>



Apéndices





Apéndice A: Toma de medidas de ancho y longitud de las calzadas

TRAMO	Ancho de calzada(m)	Longitud de calzada(m)	Pendiente longitudinal
1 - 2	6.0	91.0	0.0003
2 - 3	10.0	119.3	0.0033
1 - 4	17.4	83.1	0.0148
5 - 4	17.4	32.0	0.0106
3 - 5	4.7	85.2	0.0135
5 - 6	17.4	47.2	0.0015
3 - 7	10.0	123.2	0.0017
6 - 9	17.4	75.2	0.0030
7 - 8	10.0	34.0	0.0162
8 - 9	10.0	55.0	0.0124
1 - C4	5.6	179.0	0.0049
4 - B3	5.0	178.3	0.0002
6 - A3	5.6	176.6	0.0035
C4 - B3	5.9	78.5	0.0050
B3 - A3	5.5	76.3	0.0129
Z1 - A3	5.5	76.4	0.0084
9 - 10	10.0	32.0	0.0058
7 - 18	10.0	113.2	0.0042
8 - 19	5.1	115.9	0.0040
18 - 19	5.4	35.0	0.0155
9 - 20	10.0	118.0	0.0046
9 - 10	6.6	28.5	0.0065
10 - 21	5.0	113.1	0.0049
10 - 16	6.6	57.2	0.0063
16 - 17	6.6	37.3	0.0035
17 - Z1	6.6	53.1	0.0067
16 - 11	7.0	113.9	0.0047
17 - 12	5.0	115.4	0.0042
Z1 - 13'	5.9	116.2	0.0047
19 - 20	5.4	53.2	0.0143
20 - 21	5.4	32.0	0.0064
21 - 11	5.4	54.8	0.0061
11 - 12	7.3	37.9	0.0021
12 - 13'	4.9	52.7	0.0078
18 - 22	10.0	118.0	0.0046
19 - 23	5.1	118.0	0.0032
20 - 24	10.0	116.2	0.0046
21 - 25	5.0	115.3	0.0050
11 - 26	9.6	115.9	0.0048

TRAMO	Ancho de calzada(m)	Longitud de calzada(m)	Pendiente longitudinal
12 - A'	5.6	111.5	0.0047
13' - 15	5.9	113.8	0.0020
22 - 23	7.0	23.0	0.0164
23 - 24	7.0	64.4	0.0144
24 - 25	7.0	20.2	0.0117
25 - 26	6.0	55.4	0.0058
26 - A'	6.0	39.4	0.0013
A' - 15	6.0	52.7	0.0021
33 - 32	10.0	77.1	0.0137
32 - 34	8.2	124.0	0.0091
32 - 30	10.0	85.1	0.0082
35 - 34	7.0	77.4	0.0148
30 - 31	7.6	96.2	0.0063
30 - 29	10.0	66.8	0.0116
29 - 27	10.0	56.2	0.0111
27 - 28	10.8	89.1	0.0083
28 - 31	8.2	93.6	0.0163
27 - 22	10.0	113.3	0.0057
28 - 24	8.2	115.0	0.0105
31 - D'	7.6	98.0	0.0098
34 - 36	7.9	111.9	0.0097
D' - 26	19.1	159.0	0.0147
36 - D'	3.3	86.3	0.0006
36 - 38	11.1	69.8	0.0106
37 - 38	8.0	78.0	0.0176
D' - 15	7.0	215.7	0.0116
38 - B	11.1	177.6	0.0127
T - S	7.0	139.1	0.0103
S - R	3.0	31.0	0.0122
S - U	5.0	80.5	0.0035
J - O	5.7	48.0	0.0099
O - P	3.3	37.4	0.0091
P - R	2.9	70.2	0.0056
O - Q	5.9	38.5	0.0119
R - W	2.9	84.3	0.0039
U - W	5.5	43.4	0.0098
Q - X1	7.5	129.3	0.0073
W - X1	5.5	40.8	0.0085
Q - N	6.7	53.7	0.0124
X1 - Z	5.6	153.0	0.0112
M - N	6.6	52.2	0.0035
M - K	4.8	100.0	0.0076

TRAMO	Ancho de calzada(m)	Longitud de calzada(m)	Pendiente longitudinal
K - L	6.7	52.2	0.0049
N - L	6.7	101.0	0.0118
L - F2	7.3	55.0	0.0062
H - L	5.9	62.6	0.0124
F2 - Z	7.3	51.2	0.0090
F2 - F'	4.4	112	0.0093
Z - 13	5.6	115	0.0043
I - H	5.5	82.9	0.0220
13 - F'	7.0	52.3	0.0017
F' - F	7.0	41.8	0.0033
H - F	10.3	49.4	0.0151
F - E	6.2	53.6	0.0101
D - E	6.6	110.0	0.0052
G - F	10.3	54.8	0.0037
14 - 13	5.5	57.8	0.0020
G - 14	6.3	87.6	0.0062
15' - 14	5.0	55.8	0.0080
15' - C	7.0	81.2	0.0070
C - G	8.5	50.3	0.0093
D - C	6.6	52.3	0.0122
A - B5	6.7	24.3	0.0633
B5 - B	6.7	60.2	0.0008
B - C	6.0	38.1	0.0040
A - I	8.2	217.0	0.0069
J - I	8.2	223.4	0.0078
33 - 35	8.2	165.1	0.0063
35 - 37	8.2	183.7	0.0087
37 - A	8.2	261.0	0.0078
T - J	8.2	88.2	0.0068

TRAMO	ÁREAS(m2)								
	acera de concreto	berma/calzada de asfalto	calzada de concreto	calzada de adoquín	área de pasto	área de arena	berma de adoquín	parque	techos
10 - 21	240.00	0.00	0.00	540.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2820.00
10 - 16	141.00	398.92	0.00	0.00	27.52	92.72	0.00	0.00	1317.43
16 - 17	101.97	252.82	0.00	0.00	19.61	74.72	0.00	0.00	1078.71
17 - Z1	103.00	318.69	0.00	0.00	19.61	215.02	0.00	0.00	1384.27
16 - 11	723.40	0.00	0.00	847.00	0.00	0.00	1045.33	0.00	2459.40
17 - 12	253.00	0.00	0.00	586.65	0.00	0.00	0.00	0.00	2607.51
Z1 - 13'	242.26	0.00	0.00	691.48	0.00	165.19	233.02	0.00	1646.88
19 - 20	128.01	0.00	281.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1039.00
20 - 21	76.80	0.00	0.00	158.10	0.00	0.00	0.00	0.00	288.00
21 - 11	119.85	0.00	0.00	280.59	0.00	0.00	0.00	0.00	708.68
11 - 12	68.65	0.00	0.00	302.26	0.00	0.00	0.00	0.00	223.43
12 - 13'	172.28	0.00	0.00	228.31	0.00	0.00	0.00	0.00	798.58
18 - 22	350.00	890.00	0.00	0.00	950.00	0.00	0.00	0.00	960.00
19 - 23	270.00	0.00	0.00	276.48	0.00	0.00	0.00	0.00	3176.00
20 - 24	240.00	1120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2884.00
21 - 25	243.54	0.00	240.00	570.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2780.00
11 - 26	533.81	0.00	0.00	749.91	0.00	0.00	1029.40	0.00	2385.48
12 - A'	320.19	0.00	0.00	623.34	0.00	250.96	0.00	0.00	2353.97
13' - 15	285.33	0.00	0.00	670.36	0.00	165.19	239.58	0.00	1486.08
22 - 23	52.93	0.00	227.06	0.00	0.00	20.41	0.00	0.00	528.00
23 - 24	89.76	0.00	335.59	0.00	30.75	200.00	0.00	0.00	1638.00
24 - 25	55.43	0.00	207.33	0.00	19.80	117.99	0.00	0.00	442.00

TRAMO	ÁREAS(m2)								
	acera de concreto	berma/calzada de asfalto	calzada de concreto	calzada de adoquín	área de pasto	área de arena	berma de adoquín	parque	techos
25 - 26	101.54	0.00	378.70	0.00	73.14	237.60	0.00	1143.00	421.00
26 - A'	45.00	0.00	236.58.	0.00	0.00	39.60	0.00	80.40	99.05
A' - 15	46.21	0.00	307.20	0.00	0.00	68.87	0.00	80.40	368.64
33 - 32	70.00	470.00	0.00	0.00	460.00	0.00	0.00	0.00	350.00
32 - 34	260.00	0.00	0.00	600.00	470.00	0.00	0.00	0.00	3950.00
32 - 30	90.00	780.00	0.00	0.00	560.00	0.00	0.00	0.00	340.00
35 - 34	150.00	0.00	0.00	360.00	270.00	0.00	0.00	0.00	2300.00
30 - 31	180.00	0.00	0.00	910.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4560.00
30 - 29	130.00	540.00	0.00	0.00	400.00	0.00	0.00	0.00	520.00
29 - 27	120.00	330.00	0.00	0.00	440.00	0.00	0.00	0.00	430.00
27 - 28	180.00	0.00	0.00	0.00	890.00	0.00	0.00	0.00	1860.00
28 - 31	100.00	780.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2480.00
27 - 22	0.00	330.00	0.00	0.00	560.00	0.00	0.00	0.00	2640.00
28 - 24	110.00	930.00	0.00	0.00	110.00	0.00	0.00	0.00	6050.00
31 - D'	310.64	0.00	0.00	1021.55	0.00	0.00	0.00	1729.00	2896.00
34 - 36	220.00	0.00	0.00	520.00	400.00	0.00	0.00	0.00	6560.00
D' - 26	773.68	0.00	0.00	1494.43	0.00	0.00	0.00	7715.00	0.00
36 - D'	221.16	0.00	0.00	413.10	345.04	0.00	0.00	0.00	2877.00
36 - 38	350.53	0.00	0.00	377.62	22.24	158.15	11.62	0.00	3649.00
37 - 38	150.00	0.00	0.00	380.00	280.00	0.00	0.00	0.00	2538.00
D' - 15	460.00	0.00	0.00	1995.00	330.00	0.00	0.00	4708.00	6442.00
38 - B	720.06	0.00	0.00	1001.65	144.56	314.66	27.92	0.00	11020.00

TRAMO	ÁREAS(m2)								
	acera de concreto	berma/calzada de asfalto	calzada de concreto	calzada de adoquín	área de pasto	área de arena	berma de adoquín	parque	techos
T - S	280.00	700.00	0.00	0.00	360.00	0.00	0.00	0.00	1730.00
S - R	102.00	0.00	0.00	0.00	93.00	12.00	0.00	0.00	387.81
S - U	148.20	417.20	0.00	0.00	241.50	0.00	0.00	0.00	769.29
J - O	195.25	0.00	0.00	272.64	80.59	0.00	0.00	0.00	1259.00
O - P	85.13	0.00	0.00	122.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1229.00
P - R	192.86	0.00	0.00	203.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1715.11
O - Q	130.23	0.00	0.00	228.31	88.15	0.00	0.00	0.00	902.00
R - W	190.62	0.00	0.00	244.53	0.00	0.00	0.00	0.00	1732.24
U - W	82.26	0.00	0.00	238.43	0.00	48.29	52.80	0.00	193.91
Q - X1	202.46	0.00	0.00	901.63	157.91	0.00	0.00	2982.00	1769.00
W - X1	83.49	0.00	0.00	224.51	0.00	53.11	58.30	0.00	217.71
Q - N	47.88	90.63	0.00	358.18	0.00	0.00	0.00	1054.00	460.00
X1 - Z	0.00	0.00	0.00	856.09	0.00	0.00	485.04	4596.00	0.00
M - N	128.02	0.00	0.00	342.95	0.00	0.00	0.00	0.00	1398.00
M - K	278.62	0.00	0.00	476.43	135.58	0.00	0.00	0.00	3227.00
K - L	140.38	0.00	0.00	348.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1463.00
N - L	142.23	161.19	0.00	673.67	14.14	0.00	0.00	3417.00	1511.00
L - F2	110.95	0.00	0.00	401.50	51.81	0.00	0.00	1059.00	467.00
H - L	193.92	0.00	0.00	369.34	167.31	0.00	0.00	0.00	1681.00
F2 - Z	115.40	0.00	0.00	373.76	53.57	0.00	0.00	1170.00	452.00
F2 - F'	322.24	0.00	0.00	491.04	163.11	0.00	0.00	0.00	3447.00
Z - 13	201.11	0.00	642.85	0.00	0.00	0.00	212.18	0.00	1780.00

Apéndice B.2: Cálculo de coeficiente de escorrentía de cuenca urbana El Chilcal

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		
TRAMO	ARÉA(m2)	C
1 - 2	1790	0.83
2 - 3	3520	0.86
1 - 4	5020	0.87
5 - 4	1930	0.87
3 - 5	2670	0.82
5 - 6	2790	0.87
3 - 7	4410	0.77
6 - 9	4790	0.87
7 - 8	720	0.87
8 - 9	1680	0.87
1 - C4	6428	0.75
4 - B3	10179	0.87
6 - A3	18288	0.83
C4 - B3	2073	0.74
B3 - A3	1885	0.74
Z1 - A3	1776	0.74
9 - 10	1581	0.80
7 - 18	3350	0.72
8 - 19	3654	0.86
18 - 19	448	0.88
9 - 20	4190	0.87
10 - 21	3600	0.85
10 - 16	1978	0.83
16 - 17	1528	0.83
17 - Z1	2041	0.79
16 - 11	5075	0.81
17 - 12	3447	0.84
Z1 - 13'	2979	0.78
19 - 20	1449	0.88
20 - 21	523	0.82
21 - 11	1109	0.83
11 - 12	594	0.78
12 - 13'	1199	0.84
18 - 22	3150	0.73
19 - 23	3722	0.86

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		
TRAMO	ÁREA(m2)	C
20 - 24	4244	0.87
21 - 25	3834	0.85
11 - 26	4699	0.81
12 - A'	3548	0.79
13' - 15	2847	0.77
22 - 23	828	0.86
23 - 24	2294	0.80
24 - 25	843	0.75
25 - 26	2355	0.55
26 - A'	501	0.74
A' - 15	871	0.77
33 - 32	1350	0.70
32 - 34	5280	0.81
32 - 30	1770	0.71
35 - 34	3080	0.81
30 - 31	5650	0.85
30 - 29	1590	0.75
29 - 27	1320	0.71
27 - 28	2930	0.73
28 - 31	3360	0.87
27 - 22	3530	0.80
28 - 24	7200	0.87
31 - D'	5957	0.71
34 - 36	7700	0.84
D' - 26	9983	0.48
36 - D'	3856	0.81
36 - 38	4569	0.83
37 - 38	3348	0.81
D' - 15	13935	0.68
38 - B	13229	0.84
T - S	3070	0.81
S - R	595	0.78
S - U	1576	0.80
J - O	1807	0.83
O - P	1436	0.86
P - R	2112	0.86

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA		
TRAMO	ÁREA(m2)	C
O - Q	1349	0.81
R - W	2167	0.86
U - W	616	0.73
Q - X1	6013	0.60
W - X1	637	0.73
Q - N	2011	0.59
X1 - Z	5937	0.46
M - N	1869	0.84
M - K	4118	0.84
K - L	1952	0.84
N - L	5919	0.58
L - F2	2090	0.59
H - L	2412	0.81
F2 - Z	2165	0.57
F2 - F'	4423	0.84
Z - 13	2836	0.86
I - H	3666	0.83
13 - F'	1700	0.88
F' - F	1250	0.88
H - F	1862	0.88
F - E	1829	0.88
D - E	4567	0.88
G - F	1937	0.88
14 - 13	1083	0.81
G - 14	3269	0.88
15' - 14	1062	0.82
15' - C	3451	0.85
C - G	2175	0.88
D - C	1729	0.88
A - B5	651	0.87
B5 - B	3354	0.87
B - C	1969	0.88
A - I	5668	0.80
J - I	5527	0.77
33 - 35	5641	0.84
35 - 37	7117	0.84
37 - A	8654	0.85
T - J	1920	0.87
		C prom = 0.80

Apéndice C.1: Cálculo del tiempo de concentración

TRAMO	l transversal (m)	l longitudinal (m)	n	s transversal	s longitudinal	to(min)	v asumida(m/s)	tv (min)	tc(min) acumulativo	tc(min) mínimo
1 - 2	3.00	91.00	0.013	0.02	0.0003	0.205	0.3296	4.601	4.806	10.00
2 - 3	5.00	119.30	0.013	0.02	0.0033	0.304	1.0569	1.881	6.687	10.00
1 - 4	8.70	83.10	0.013	0.02	0.0148	0.465	1.8278	0.758	1.223	10.00
5 - 4	8.70	32.00	0.013	0.02	0.0106	0.465	1.6472	0.324	1.547	10.00
3 - 5	2.35	85.20	0.013	0.02	0.0135	0.169	1.6971	0.837	7.524	10.00
5 - 6	8.70	47.20	0.013	0.02	0.0015	0.465	0.9697	0.811	8.335	10.00
3 - 7	5.00	123.23	0.013	0.02	0.0017	0.304	0.9162	2.242	8.929	10.00
6 - 9	8.70	75.20	0.013	0.02	0.0030	0.465	1.2888	0.972	9.308	10.00
7 - 8	5.00	34.00	0.013	0.02	0.0162	0.304	1.6898	0.335	9.264	10.0
8 - 9	5.00	55.00	0.013	0.02	0.0124	0.304	1.6080	0.570	9.834	10.00
1 - C4	2.80	179.00	0.013	0.02	0.0049	0.194	1.2858	2.320	2.514	10.00
4 - B3	2.50	178.33	0.013	0.02	0.0002	0.178	0.4649	6.393	7.616	10.00
6 - A3	2.81	176.61	0.013	0.02	0.0035	0.195	1.5246	1.931	10.266	10.22
C4 - B3	2.95	78.53	0.013	0.02	0.0050	0.202	1.3971	0.937	3.451	10.00
B3 - A3	2.75	76.25	0.013	0.02	0.0129	0.192	2.5161	0.505	3.956	10.00
Z1 - A3	2.75	76.36	0.013	0.02	0.0084	0.192	2.5597	0.497	10.763	10.76
9 - 10	5.00	32.00	0.013	0.02	0.0058	0.304	1.4555	0.366	10.201	10.16
7 - 18	5.00	113.20	0.013	0.02	0.0042	0.304	1.3146	1.435	10.364	10.32
8 - 19	2.56	115.87	0.013	0.02	0.0040	0.181	1.0852	1.780	11.044	11.04
18 - 19	2.70	35.00	0.013	0.02	0.0155	0.188	1.6539	0.353	10.717	10.67
9 - 20	5.00	118.00	0.013	0.02	0.0046	0.304	1.5343	1.282	11.116	11.12
10 - 21	2.50	113.07	0.013	0.02	0.0065	0.221	1.4846	0.320	10.154	10.15

TRAMO	l transversal (m)	l longitudinal (m)	n	s transversal	s longitudinal	to(min)	v asumida(m/s)	tv (min)	tc(min) acumulativo	tc(min) mínimo
10 - 16	3.31	57.22	0.013	0.02	0.0063	0.221	1.4779	0.645	10.799	10.80
16 - 17	3.31	37.34	0.013	0.02	0.0035	0.221	1.1510	0.541	11.340	11.34
17 - Z1	3.31	53.12	0.013	0.02	0.0067	0.221	1.4628	0.605	11.945	11.94
16 - 11	3.50	113.98	0.013	0.02	0.0047	0.230	1.3023	1.459	12.258	12.26
17 - 12	2.50	115.40	0.013	0.02	0.0042	0.178	1.1618	1.655	12.995	13.00
Z1 - 13'	2.95	116.20	0.013	0.02	0.0047	0.202	2.1472	0.902	12.847	12.85
19 - 20	2.70	53.20	0.013	0.02	0.0143	0.188	1.7933	0.494	11.538	11.54
20 - 21	2.70	32.00	0.013	0.02	0.0064	0.188	1.5089	0.353	11.892	11.89
21 - 11	2.70	54.81	0.013	0.02	0.0061	0.188	1.5025	0.608	12.500	12.50
11 - 12	3.67	37.85	0.013	0.02	0.0021	0.239	1.0120	0.623	13.123	13.12
12 - 13'	2.45	52.67	0.013	0.02	0.0078	0.175	1.6577	0.530	13.652	13.65
18 - 22	5.00	118.00	0.013	0.02	0.0046	0.304	1.3755	1.430	11.794	11.79
19 - 23	2.56	118.00	0.013	0.02	0.0032	0.181	1.1355	1.732	12.776	12.78
20 - 24	5.00	116.20	0.013	0.02	0.0046	0.304	1.5675	1.236	12.774	12.77
21 - 25	2.50	115.27	0.013	0.02	0.0050	0.178	1.4515	1.324	13.215	13.22
11 - 26	4.80	115.93	0.013	0.02	0.0048	0.2942	1.4911	1.296	13.795	13.80
12 - A'	2.79	111.46	0.013	0.02	0.0047	0.1935	1.3986	1.328	14.451	14.45
13' - 15	2.95	113.84	0.013	0.02	0.0020	0.2023	1.6257	1.167	14.820	14.82
22 - 23	3.50	23.00	0.013	0.02	0.0164	0.2307	2.5756	0.149	11.942	11.94
23 - 24	3.50	64.38	0.013	0.02	0.0144	0.2307	2.7396	0.392	13.167	13.17
24 - 25	3.50	20.24	0.013	0.02	0.0117	0.2307	3.0949	0.109	13.276	13.28
25 - 26	3.00	55.42	0.013	0.02	0.0058	0.2049	2.4901	0.371	13.647	13.65
26 - A'	3.00	39.43	0.013	0.02	0.0013	0.2049	1.5261	0.431	14.078	14.08
A' - 15	3.00	52.65	0.013	0.02	0.0021	0.2049	1.8740	0.468	14.546	14.55

TRAMO	l transversal (m)	l longitudinal (m)	n	s transversal	s longitudinal	to(min)	v asumida(m/s)	tv (min)	tc(min) acumulativo	tc(min) mínimo
33 - 32	5.00	77.06	0.013	0.02	0.0137	0.304	1.2731	1.009	1.312	10.00
32 - 34	4.12	124.00	0.013	0.02	0.0091	0.262	1.5723	1.314	2.627	10.00
32 - 30	5.00	85.10	0.013	0.02	0.0082	0.304	1.2579	1.128	2.440	10.00
35 - 34	3.50	77.35	0.013	0.02	0.0148	0.231	1.7958	0.718	3.001	10.00
30 - 31	3.80	96.23	0.013	0.02	0.0063	0.246	1.4157	1.133	3.573	10.00
30 - 29	5.00	66.82	0.013	0.02	0.0116	0.304	1.5304	0.728	3.168	10.00
29 - 27	5.00	56.16	0.013	0.02	0.0111	0.304	1.6315	0.574	3.741	10.00
27 - 28	5.40	89.10	0.013	0.02	0.0083	0.322	1.4256	1.042	4.783	10.00
28 - 31	4.10	93.60	0.013	0.02	0.0163	0.261	1.9256	0.810	4.383	10.00
27 - 22	5.00	113.31	0.013	0.02	0.0057	0.304	1.3891	1.359	5.101	10.00
28 - 24	4.10	115.00	0.013	0.02	0.0105	0.261	2.1801	0.879	5.662	10.00
31 - D'	3.80	98.00	0.013	0.02	0.0098	0.246	1.8790	0.869	4.442	10.00
34 - 36	3.98	111.94	0.013	0.02	0.0097	0.255	2.1512	0.867	3.494	10.00
D' - 26	9.60	159.00	0.013	0.02	0.0147	0.499	2.2348	1.186	5.628	10.00
36 - D'	1.64	86.25	0.013	0.02	0.0006	0.128	0.5428	2.649	7.091	10.00
36 - 38	5.53	69.80	0.013	0.02	0.0106	0.328	2.4802	0.469	7.560	10.00
37 - 38	4.00	78.00	0.013	0.02	0.0176	0.256	2.0855	0.623	4.590	10.00
D' - 15	3.50	215.65	0.013	0.02	0.0116	0.231	2.3819	1.509	5.951	10.00
38 - B	5.53	177.62	0.013	0.02	0.0127	0.328	3.0348	0.975	8.535	10.00
T - S	3.50	139.08	0.013	0.02	0.0103	0.231	1.4049	1.650	1.881	10.00
S - R	1.50	31.00	0.013	0.02	0.0122	0.120	1.2612	0.410	2.290	10.00

TRAMO	l transversal (m)	l longitudinal (m)	n	s transversal	s longitudinal	to(min)	v asumida(m/s)	tv (min)	tc(min) acumulativo	tc(min) mínimo
S - U	2.50	80.50	0.013	0.02	0.0035	0.178	0.9895	1.356	3.237	10.00
J - O	2.84	48.00	0.013	0.02	0.0099	0.196	1.3058	0.613	2.245	10.00
O - P	1.64	37.40	0.013	0.02	0.0091	0.128	1.2369	0.504	2.749	10.00
P - R	1.45	70.26	0.013	0.02	0.0056	0.117	1.2183	0.961	3.710	10.00
O - Q	2.97	38.50	0.013	0.02	0.0119	0.203	1.4842	0.432	2.677	10.00
R - W	1.45	84.32	0.013	0.02	0.0039	0.117	1.2462	1.128	3.418	10.00
U - W	2.75	43.35	0.013	0.02	0.0098	0.192	1.5134	0.477	3.714	10.00
Q - X1	3.74	129.31	0.013	0.02	0.0073	0.243	1.5872	1.358	4.035	10.00
W - X1	2.75	40.82	0.013	0.02	0.0085	0.192	1.8873	0.360	4.074	10.00
Q - N	3.34	53.70	0.013	0.02	0.0124	0.222	1.4984	0.597	3.274	10.00
X1 - Z	2.81	153.00	0.013	0.02	0.0112	0.195	2.5130	1.015	5.089	10.00
M - N	3.29	52.20	0.013	0.02	0.0035	0.219	0.9163	0.949	4.224	10.00
M - K	2.38	100.00	0.013	0.02	0.0076	0.171	1.5396	1.083	5.306	10.00
K - L	3.34	52.20	0.013	0.02	0.0049	0.223	1.3915	0.625	5.931	10.00
N - L	3.34	101.00	0.013	0.02	0.0118	0.222	1.8860	0.893	4.167	10.00
L - F2	3.65	55.00	0.013	0.02	0.0062	0.238	1.5930	0.575	6.507	10.00
H - L	2.95	62.60	0.013	0.02	0.0124	0.202	2.0690	0.504	6.436	10.00
F2 - Z	3.65	51.20	0.013	0.02	0.0090	0.238	1.7896	0.477	6.984	10.00
F2 - F'	2.20	112.00	0.013	0.02	0.0093	0.161	1.7111	1.091	7.598	10.00
Z - 13	2.80	115.00	0.013	0.02	0.0043	0.194	1.9129	1.002	12.947	12.95
I - H	2.75	82.90	0.013	0.02	0.0220	0.192	2.1952	0.629	4.382	10.00
13 - F'	3.50	52.30	0.013	0.02	0.0017	0.231	1.3634	0.639	14.292	14.29
F' - F	3.50	41.80	0.013	0.02	0.0033	0.231	1.8301	0.381	14.672	14.67

TRAMO	l transversal (m)	l longitudinal (m)	n	s transversal	s longitudinal	to(min)	v asumida(m/s)	tv (min)	tc(min) acumulativo	tc(min) mínimo
H - F	5.15	49.40	0.013	0.02	0.0151	0.311	2.5478	0.323	6.759	10.00
F - E	3.12	53.60	0.013	0.02	0.0101	0.211	1.2332	0.724	0.936	10.00
D - E	3.30	110.00	0.013	0.02	0.0052	0.221	1.2073	1.518	1.739	10.00
G - F	5.15	54.80	0.013	0.02	0.0037	0.311	2.0766	0.440	15.112	15.11
14 - 13	2.73	57.80	0.013	0.02	0.0020	0.190	0.5922	1.627	1.817	10.00
G - 14	3.15	87.60	0.013	0.02	0.0062	0.213	1.1894	1.228	1.440	10.00
15' - 14	2.50	55.80	0.013	0.02	0.0080	0.178	0.9916	0.938	1.116	10.00
15' - C	3.50	81.20	0.013	0.02	0.0070	0.231	3.4354	0.394	14.940	14.94
C - G	4.25	50.30	0.013	0.02	0.0093	0.268	3.0064	0.279	15.391	15.39
D - C	3.28	52.30	0.013	0.02	0.0122	0.219	1.8052	0.483	2.222	10.00
A - B5	3.35	24.31	0.013	0.02	0.0633	0.223	4.8172	0.084	6.307	10.00
B5 - B	3.35	60.20	0.013	0.02	0.0008	0.223	0.9745	1.030	7.336	10.00
B - C	5.60	38.10	0.013	0.02	0.0040	0.331	2.2634	0.281	7.617	10.00
A - I	4.10	217.00	0.013	0.02	0.0069	0.260	1.6524	2.189	5.942	10.00
J - I	4.10	223.43	0.013	0.02	0.0078	0.260	1.5641	2.381	3.753	10.00
33 - 35	4.10	165.10	0.013	0.02	0.0063	0.260	1.3605	2.023	2.283	10.00
35 - 37	4.10	183.67	0.013	0.02	0.0087	0.260	1.8174	1.684	3.967	10.00
37 - A	4.10	261.00	0.013	0.02	0.0078	0.260	1.9287	2.255	6.223	10.00
T - J	4.10	88.2.00	0.013	0.02	0.0068	0.260	1.0716	1.372	1.632	10.00

Apéndice C.2: Calculo del caudal de escorrentía

TRAMO	I(mm/h)	C	ÁREA(m²)	Q(m³/s)	D(m)	V(m/s)
1 - 2	94.01	0.83	1870.90	0.039	0.40	0.326
2 - 3	94.01	0.86	5390.90	0.111	0.40	1.085
1 - 4	94.01	0.87	5102.64	0.105	0.30	1.893
5 - 4	94.01	0.87	5533.24	0.114	0.30	1.604
3 - 5	94.01	0.82	4371.69	0.090	0.30	1.805
5 - 6	94.01	0.87	12746.40	0.263	0.60	0.951
3 - 7	94.01	0.77	8305.36	0.171	0.50	0.901
6 - 9	94.01	0.87	13786.56	0.285	0.60	1.354
7 - 8	94.01	0.87	3244.63	0.067	0.30	1.983
8 - 9	94.01	0.87	4002.92	0.083	0.30	1.733
1 - C4	94.01	0.75	6607.28	0.136	0.40	1.316
4 - B3	94.01	0.87	11888.52	0.245	0.90	0.479
6 - A3	93.79	0.83	22288.21	0.459	0.70	1.609
C4 - B3	94.01	0.74	8758.45	0.181	0.40	1.339
B3 - A3	94.01	0.74	22607.94	0.467	0.50	2.481
Z1 - A3	93.25	0.74	46748.62	0.957	0.70	2.512
9 - 10	93.85	0.80	8547.19	0.176	0.40	1.429
7 - 18	93.69	0.72	9278.37	0.191	0.50	1.409
8 - 19	92.97	0.86	4627.55	0.094	0.40	1.189
18 - 19	93.34	0.88	3231.78	0.066	0.30	1.938
9 - 20	92.90	0.87	15041.47	0.307	0.50	1.478

TRAMO	I(mm/h)	C	ÁREA(m ²)	Q(m ³ /s)	D(m)	V(m/s)
10 - 21	92.39	0.85	6275.04	0.127	0.40	1.325
10 - 16	93.22	0.83	8017.85	0.164	0.40	1.493
16 - 17	92.68	0.83	7177.66	0.146	0.40	1.112
17 - Z1	92.09	0.79	7118.07	0.144	0.40	1.539
16 - 11	91.79	0.81	7594.46	0.153	0.40	1.291
17 - 12	91.09	0.84	5715.85	0.114	0.40	1.222
Z1 - 13'	91.23	0.78	56961.72	1.141	0.90	2.210
19 - 20	92.49	0.88	5099.26	0.104	0.30	1.860
20 - 21	92.15	0.82	8604.83	0.174	0.40	1.505
21 - 11	91.56	0.83	9069.82	0.182	0.40	1.474
11 - 12	90.97	0.78	9259.40	0.185	0.50	1.006
12 - 13'	90.47	0.84	9448.18	0.188	0.40	1.665
18 - 22	92.24	0.73	9759.30	0.198	0.50	1.480
19 - 23	91.30	0.86	7931.30	0.159	0.50	1.231
20 - 24	91.30	0.87	16302.80	0.327	0.50	1.490
21 - 25	90.88	0.85	10922.72	0.218	0.50	1.539
11 - 26	90.34	0.81	12851.59	0.255	0.50	1.513
12 - A'	89.74	0.79	10438.84	0.206	0.50	1.503
13' - 15	89.40	0.77	69370.28	1.362	1.00	1.544
22 - 23	92.10	0.86	17725.52	0.359	0.50	2.800
23 - 24	90.93	0.80	27950.92	0.558	0.50	2.622
24 - 25	90.83	0.75	62347.11	1.244	0.80	3.231

TRAMO	I(mm/h)	C	ÁREA(m ²)	Q(m ³ /s)	D(m)	V(m/s)
25 - 26	90.48	0.55	75624.82	1.503	1.00	2.634
26 - A'	90.08	0.74	100584.61	1.990	1.40	1.563
A' - 15	89.65	0.77	111947.42	2.204	1.40	1.986
33 - 32	94.01	0.70	1350.00	0.028	0.30	1.821
32 - 34	94.01	0.81	5807.00	0.120	0.30	1.483
32 - 30	94.01	0.71	2799.01	0.058	0.30	1.405
35 - 34	94.01	0.81	4772.30	0.099	0.30	1.891
30 - 31	94.01	0.85	6585.20	0.136	0.40	1.498
30 - 29	94.01	0.75	3615.23	0.075	0.30	1.676
29 - 27	94.01	0.71	4992.05	0.103	0.30	1.639
27 - 28	94.01	0.73	4510.62	0.093	0.30	1.416
28 - 31	94.01	0.87	5426.32	0.112	0.30	1.988
27 - 22	94.01	0.80	7137.82	0.147	0.40	1.422
28 - 24	94.01	0.87	17250.84	0.356	0.50	2.243
31- D'	94.01	0.71	10566.83	0.218	0.40	1.867
34 - 36	94.01	0.84	18397.08	0.380	0.50	2.156
D' - 26	94.01	0.48	11568.14	0.239	0.40	2.282
36 - D'	94.01	0.81	5441.32	0.112	0.60	0.583
36 - 38	94.01	0.83	28477.37	0.588	0.60	2.545
37 - 38	94.01	0.81	6667.71	0.138	0.30	2.064
D' - 15	94.01	0.68	21331.78	0.440	0.50	2.351
38 - B	94.01	0.84	48557.22	1.003	0.70	3.090
T - S	94.01	0.81	3070.00	0.063	0.30	1.579
S - R	94.01	0.78	1546.81	0.032	0.30	1.718

TRAMO	I(mm/h)	C	ÁREA(m ²)	Q(m ³ /s)	D(m)	V(m/s)
S - U	94.01	0.80	3805.69	0.079	0.30	0.921
J - O	94.01	0.83	2431.49	0.050	0.30	1.548
O - P	94.01	0.86	2203.28	0.045	0.30	1.488
P - R	94.01	0.86	4385.25	0.091	0.30	1.159
O - Q	94.01	0.81	3089.23	0.064	0.30	1.695
R - W	94.01	0.86	8183.77	0.169	0.40	1.176
U - W	94.01	0.73	4464.72	0.092	0.30	1.539
Q - X1	94.01	0.60	8296.16	0.171	0.40	1.616
W - X1	94.01	0.73	13326.42	0.275	0.50	2.017
Q - N	94.01	0.59	2991.16	0.062	0.30	1.735
X1 - Z	94.01	0.46	27712.31	0.572	0.60	2.614
M - N	94.01	0.84	2818.53	0.058	0.30	0.919
M - K	94.01	0.84	7036.45	0.145	0.40	1.639
K - L	94.01	0.84	9040.72	0.187	0.40	1.317
N - L	94.01	0.58	8114.04	0.168	0.40	2.049
L - F2	94.01	0.59	10907.98	0.225	0.50	1.720
H - L	94.01	0.81	10866.21	0.224	0.40	2.103
F2 - Z	94.01	0.57	9851.51	0.203	0.40	1.791
F2 - F'	94.01	0.84	7807.38	0.161	0.40	1.822
Z - 13	91.14	0.86	40514.96	0.811	0.80	1.963
I - H	94.01	0.83	5877.26	0.121	0.30	2.306
13 - F'	89.88	0.88	42267.57	0.834	1.00	1.440
F' - F	89.54	0.88	51366.65	1.010	0.90	1.866
H - F	94.01	0.88	18654.64	0.385	0.50	2.690

TRAMO	I(mm/h)	C	ÁREA(m ²)	Q(m ³ /s)	D(m)	V(m/s)
F - E	94.01	0.88	1882.62	0.039	0.30	1.562
D - E	94.01	0.88	4677.06	0.097	0.30	1.121
G - F	89.14	0.88	73895.53	1.447	1.00	2.103
14 - 13	94.01	0.81	1140.96	0.024	0.30	0.694
G - 14	94.01	0.88	3356.84	0.069	0.30	1.227
15' - 14	94.01	0.82	1117.67	0.023	0.30	1.390
15' - C	89.29	0.85	207949.35	4.078	1.20	3.285
C - G	88.89	0.88	80127.25	1.564	0.90	3.129
D - C	94.01	0.88	6458.11	0.133	0.40	2.085
A - B5	94.01	0.87	27803.23	0.574	0.40	4.744
B5 - B	94.01	0.87	31220.70	0.645	1.00	0.991
B - C	94.01	0.88	82435.32	1.702	1.00	2.207
A - I	94.01	0.80	10731.73	0.222	0.40	1.565
J - I	94.01	0.77	7094.90	0.146	0.40	1.669
33 - 35	94.01	0.84	5641.00	0.116	0.40	1.496
35 - 37	94.01	0.84	11065.70	0.228	0.40	1.758
37 - A	94.01	0.85	16399.99	0.339	0.50	1.937
T - J	94.01	0.87	1920.00	0.040	0.30	1.287

Apéndice D.1: Cálculo del hietograma de diseño para un $tr = 25$ años

	T (min)	I (mm/hr)	P acum (mm)	P incre (mm)	P ordenado (mm)	desde	hasta	P(mm)	i(mm/hr)
1	10	94.014	15.669	15.669	15.669	0	10	0.151	0.909
2	20	84.945	28.315	12.646	12.646	10	20	0.154	0.924
3	30	77.535	38.767	10.452	10.452	20	30	0.157	0.940
4	40	71.362	47.574	8.807	8.807	30	40	0.159	0.956
5	50	66.136	55.114	7.539	7.539	40	50	0.162	0.973
6	60	61.653	61.653	6.540	6.540	50	60	0.165	0.991
7	70	57.764	67.391	5.737	5.737	60	70	0.168	1.009
8	80	54.355	72.473	5.082	5.082	70	80	0.171	1.028
9	90	51.342	77.014	4.540	4.540	80	90	0.174	1.047
10	100	48.660	81.100	4.086	4.086	90	100	0.178	1.067
11	110	46.255	84.801	3.702	3.702	100	110	0.181	1.088
12	120	44.087	88.174	3.373	3.373	110	120	0.185	1.110
13	130	42.121	91.263	3.089	3.089	120	130	0.189	1.132
14	140	40.331	94.105	2.843	2.843	130	140	0.193	1.156
15	150	38.693	96.732	2.627	2.627	140	150	0.197	1.180
16	160	37.188	99.169	2.437	2.437	150	160	0.201	1.206
17	170	35.802	101.438	2.269	2.269	160	170	0.205	1.232
18	180	34.519	103.557	2.119	2.119	170	180	0.210	1.260
19	190	33.329	105.542	1.985	1.985	180	190	0.215	1.289
20	200	32.222	107.406	1.864	1.864	190	200	0.220	1.319
21	210	31.189	109.162	1.756	1.756	200	210	0.225	1.350
22	220	30.223	110.819	1.657	1.657	210	220	0.231	1.383
23	230	29.318	112.387	1.568	1.568	220	230	0.236	1.418
24	240	28.468	113.873	1.486	1.486	230	240	0.242	1.454
25	250	27.668	115.285	1.412	1.412	240	250	0.249	1.492
26	260	26.914	116.628	1.343	1.343	250	260	0.255	1.532
27	270	26.202	117.908	1.280	1.280	260	270	0.262	1.574
28	280	25.528	119.130	1.222	1.222	270	280	0.270	1.618
29	290	24.889	120.298	1.168	1.168	280	290	0.277	1.664
30	300	24.283	121.416	1.118	1.118	290	300	0.286	1.713
31	310	23.707	122.488	1.072	1.072	300	310	0.294	1.765
32	320	23.159	123.516	1.029	1.029	310	320	0.303	1.820
33	330	22.637	124.505	0.988	0.988	320	330	0.313	1.878
34	340	22.139	125.455	0.951	0.951	330	340	0.323	1.940
35	350	21.664	126.371	0.916	0.916	340	350	0.334	2.005
36	360	21.209	127.254	0.883	0.883	350	360	0.346	2.075

	T (min)	I (mm/hr)	P acum (mm)	P incre (mm)	P ordenado (mm)	desde	hasta	P(mm)	i(mm/hr)
37	370	20.774	128.106	0.852	0.852	360	370	0.358	2.149
38	380	20.357	128.928	0.823	0.823	370	380	0.371	2.228
39	390	19.957	129.723	0.795	0.795	380	390	0.385	2.313
40	400	19.574	130.493	0.769	0.769	390	400	0.401	2.403
41	410	19.205	131.237	0.745	0.745	400	410	0.417	2.501
42	420	18.851	131.959	0.722	0.722	410	420	0.434	2.606
43	430	18.511	132.659	0.700	0.700	420	430	0.453	2.719
44	440	18.182	133.338	0.679	0.679	430	440	0.474	2.841
45	450	17.866	133.998	0.659	0.659	440	450	0.496	2.974
46	460	17.562	134.639	0.641	0.641	450	460	0.520	3.118
47	470	17.267	135.262	0.623	0.623	460	470	0.546	3.276
48	480	16.983	135.868	0.606	0.606	470	480	0.575	3.448
49	490	16.709	136.458	0.590	0.590	480	490	0.606	3.637
50	500	16.444	137.032	0.575	0.575	490	500	0.641	3.845
51	510	16.187	137.592	0.560	0.560	500	510	0.679	4.075
52	520	15.939	138.138	0.546	0.546	510	520	0.722	4.331
53	530	15.699	138.671	0.533	0.533	520	530	0.769	4.616
54	540	15.466	139.191	0.520	0.520	530	540	0.823	4.936
55	550	15.240	139.698	0.507	0.507	540	550	0.883	5.296
56	560	15.021	140.194	0.496	0.496	550	560	0.951	5.705
57	570	14.808	140.678	0.484	0.484	560	570	1.029	6.172
58	580	14.602	141.152	0.474	0.474	570	580	1.118	6.709
59	590	14.402	141.615	0.463	0.463	580	590	1.222	7.331
60	600	14.207	142.068	0.453	0.453	590	600	1.343	8.058
61	610	14.018	142.512	0.444	0.444	600	610	1.486	8.918
62	620	13.833	142.946	0.434	0.434	610	620	1.657	9.944
63	630	13.654	143.371	0.425	0.425	620	630	1.864	11.187
64	640	13.480	143.788	0.417	0.417	630	640	2.119	12.713
65	650	13.310	144.197	0.409	0.409	640	650	2.437	14.621
66	660	13.145	144.597	0.401	0.401	650	660	2.843	17.055
67	670	12.984	144.990	0.393	0.393	660	670	3.373	20.236
68	680	12.827	145.376	0.385	0.385	670	680	4.086	24.517
69	690	12.674	145.754	0.378	0.378	680	690	5.082	30.495
70	700	12.525	146.125	0.371	0.371	690	700	6.540	39.239
71	710	12.379	146.490	0.365	0.365	700	710	8.807	52.842
72	720	12.237	146.848	0.358	0.358	710	720	12.646	75.876
73	730	12.099	147.200	0.352	0.352	720	730	15.669	94.014

	T (min)	I (mm/hr)	P acum (mm)	P incre (mm)	P ordenado (mm)	desde	hasta	P(mm)	i(mm/hr)
74	740	11.963	147.546	0.346	0.346	730	740	10.452	62.715
75	750	11.831	147.886	0.340	0.340	740	750	7.539	45.235
76	760	11.702	148.220	0.334	0.334	750	760	5.737	34.424
77	770	11.575	148.548	0.329	0.329	760	770	4.540	27.242
78	780	11.452	148.872	0.323	0.323	770	780	3.702	22.209
79	790	11.331	149.190	0.318	0.318	780	790	3.089	18.534
80	800	11.213	149.503	0.313	0.313	790	800	2.627	15.761
81	810	11.097	149.811	0.308	0.308	800	810	2.269	13.612
82	820	10.984	150.114	0.303	0.303	810	820	1.985	11.909
83	830	10.873	150.413	0.299	0.299	820	830	1.756	10.535
84	840	10.765	150.707	0.294	0.294	830	840	1.568	9.407
85	850	10.659	150.997	0.290	0.290	840	850	1.412	8.469
86	860	10.555	151.283	0.286	0.286	850	860	1.280	7.680
87	870	10.453	151.564	0.281	0.281	860	870	1.168	7.008
88	880	10.353	151.841	0.277	0.277	870	880	1.072	6.431
89	890	10.255	152.115	0.273	0.273	880	890	0.988	5.930
90	900	10.159	152.384	0.270	0.270	890	900	0.916	5.494
91	910	10.065	152.650	0.266	0.266	900	910	0.852	5.110
92	920	9.973	152.913	0.262	0.262	910	920	0.795	4.771
93	930	9.882	153.172	0.259	0.259	920	930	0.745	4.469
94	940	9.793	153.427	0.255	0.255	930	940	0.700	4.199
95	950	9.706	153.679	0.252	0.252	940	950	0.659	3.957
96	960	9.620	153.927	0.249	0.249	950	960	0.623	3.738
97	970	9.536	154.173	0.245	0.245	960	970	0.590	3.540
98	980	9.454	154.415	0.242	0.242	970	980	0.560	3.360
99	990	9.373	154.655	0.239	0.239	980	990	0.533	3.195
100	1000	9.293	154.891	0.236	0.236	990	1000	0.507	3.045
101	1010	9.215	155.124	0.233	0.233	1000	1010	0.484	2.906
102	1020	9.139	155.355	0.231	0.231	1010	1020	0.463	2.779
103	1030	9.063	155.583	0.228	0.228	1020	1030	0.444	2.661
104	1040	8.989	155.808	0.225	0.225	1030	1040	0.425	2.552
105	1050	8.916	156.030	0.222	0.222	1040	1050	0.409	2.451
106	1060	8.844	156.250	0.220	0.220	1050	1060	0.393	2.357
107	1070	8.774	156.467	0.217	0.217	1060	1070	0.378	2.270
108	1080	8.705	156.682	0.215	0.215	1070	1080	0.365	2.188
109	1090	8.636	156.895	0.212	0.212	1080	1090	0.352	2.111
110	1100	8.569	157.105	0.210	0.210	1090	1100	0.340	2.039
111	1110	8.503	157.312	0.208	0.208	1100	1110	0.329	1.972

	T (min)	I (mm/hr)	P acum (mm)	P incre (mm)	P ordenado (mm)	desde	hasta	P(mm)	i(mm/hr)
112	1120	8.438	157.518	0.205	0.205	1110	1120	0.318	1.908
113	1130	8.375	157.721	0.203	0.203	1120	1130	0.308	1.849
114	1140	8.312	157.922	0.201	0.201	1130	1140	0.299	1.792
115	1150	8.250	158.121	0.199	0.199	1140	1150	0.290	1.739
116	1160	8.189	158.317	0.197	0.197	1150	1160	0.281	1.689
117	1170	8.129	158.512	0.195	0.195	1160	1170	0.273	1.641
118	1180	8.070	158.705	0.193	0.193	1170	1180	0.266	1.596
119	1190	8.012	158.895	0.191	0.191	1180	1190	0.259	1.553
120	1200	7.954	159.084	0.189	0.189	1190	1200	0.252	1.512
121	1210	7.898	159.271	0.187	0.187	1200	1210	0.245	1.473
122	1220	7.842	159.456	0.185	0.185	1210	1220	0.239	1.436
123	1230	7.787	159.639	0.183	0.183	1220	1230	0.233	1.400
124	1240	7.733	159.820	0.181	0.181	1230	1240	0.228	1.367
125	1250	7.680	160.000	0.180	0.180	1240	1250	0.222	1.335
126	1260	7.628	160.178	0.178	0.178	1250	1260	0.217	1.304
127	1270	7.576	160.354	0.176	0.176	1260	1270	0.212	1.274
128	1280	7.525	160.528	0.174	0.174	1270	1280	0.208	1.246
129	1290	7.474	160.701	0.173	0.173	1280	1290	0.203	1.219
130	1300	7.425	160.872	0.171	0.171	1290	1300	0.199	1.193
131	1310	7.376	161.042	0.170	0.170	1300	1310	0.195	1.168
132	1320	7.328	161.210	0.168	0.168	1310	1320	0.191	1.144
133	1330	7.280	161.377	0.167	0.167	1320	1330	0.187	1.121
134	1340	7.233	161.542	0.165	0.165	1330	1340	0.183	1.099
135	1350	7.187	161.706	0.164	0.164	1340	1350	0.180	1.078
136	1360	7.141	161.868	0.162	0.162	1350	1360	0.176	1.057
137	1370	7.096	162.029	0.161	0.161	1360	1370	0.173	1.037
138	1380	7.052	162.188	0.159	0.159	1370	1380	0.170	1.018
139	1390	7.008	162.346	0.158	0.158	1380	1390	0.167	1.000
140	1400	6.964	162.503	0.157	0.157	1390	1400	0.164	0.982
141	1410	6.922	162.658	0.155	0.155	1400	1410	0.161	0.965
142	1420	6.879	162.812	0.154	0.154	1410	1420	0.158	0.948
143	1430	6.838	162.965	0.153	0.153	1420	1430	0.155	0.932
144	1440	6.797	163.116	0.151	0.151	1430	1440	0.153	0.916

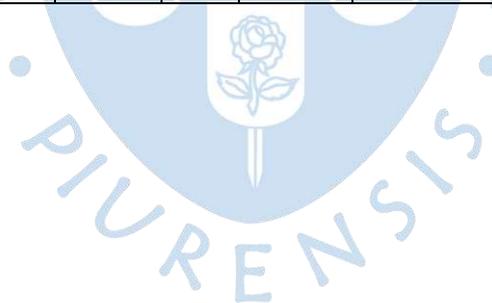
Apéndice D.2: Cálculo de las abstracciones y del hietograma de exceso de lluvia para un $t_r = 25$ años

Desde	Hasta	T(min)	P(mm)	Pacum (mm)	Ia	Fa	Pe acum(mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)	I(mm/h)
0	10	10	0.151	0.151	0.151	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91
10	20	20	0.154	0.305	0.305	0.00	0.00	0.00	0.00	0.92
20	30	30	0.157	0.462	0.462	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94
30	40	40	0.159	0.621	0.621	0.00	0.00	0.00	0.00	0.96
40	50	50	0.162	0.784	0.784	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
50	60	60	0.165	0.949	0.949	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99
60	70	70	0.168	1.117	1.117	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01
70	80	80	0.171	1.288	1.288	0.00	0.00	0.00	0.00	1.03
80	90	90	0.174	1.463	1.463	0.00	0.00	0.00	0.00	1.05
90	100	100	0.178	1.640	1.640	0.00	0.00	0.00	0.00	1.07
100	110	110	0.181	1.822	1.822	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09
110	120	120	0.185	2.007	2.007	0.00	0.00	0.00	0.00	1.11
120	130	130	0.189	2.196	2.196	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13
130	140	140	0.193	2.388	2.388	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
140	150	150	0.197	2.585	2.585	0.00	0.00	0.00	0.00	1.18
150	160	160	0.201	2.786	2.786	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21
160	170	170	0.205	2.991	2.873	0.12	0.001	0.001	0.01	1.23
170	180	180	0.210	3.201	2.873	0.32	0.007	0.006	0.04	1.26
180	190	190	0.215	3.416	2.873	0.52	0.020	0.012	0.07	1.29
190	200	200	0.220	3.636	2.873	0.72	0.038	0.019	0.11	1.32
200	210	210	0.225	3.861	2.873	0.92	0.064	0.025	0.15	1.35
210	220	220	0.231	4.092	2.873	1.12	0.095	0.032	0.19	1.38
220	230	230	0.236	4.328	2.873	1.32	0.1338	0.039	0.23	1.42
230	240	240	0.242	4.570	2.873	1.518	0.1794	0.046	0.27	1.45
240	250	250	0.249	4.819	2.873	1.714	0.2322	0.053	0.32	1.49
250	260	260	0.255	5.074	2.873	1.909	0.2925	0.060	0.36	1.53
260	270	270	0.262	5.337	2.873	2.103	0.3607	0.068	0.41	1.57
270	280	280	0.270	5.606	2.873	2.296	0.4370	0.076	0.46	1.62
280	290	290	0.277	5.884	2.873	2.489	0.5217	0.085	0.51	1.66
290	300	300	0.286	6.169	2.873	2.681	0.6152	0.094	0.56	1.71
300	310	310	0.294	6.463	2.873	2.872	0.7180	0.103	0.62	1.77
310	320	320	0.303	6.767	2.873	3.063	0.8304	0.112	0.67	1.82
320	330	330	0.313	7.080	2.873	3.254	0.9530	0.123	0.74	1.88
330	340	340	0.323	7.403	2.873	3.444	1.0861	0.133	0.80	1.94
340	350	350	0.334	7.737	2.873	3.634	1.2305	0.144	0.87	2.01
350	360	360	0.346	8.083	2.873	3.823	1.3868	0.156	0.94	2.07
360	370	370	0.358	8.441	2.873	4.013	1.5555	0.169	1.01	2.15
370	380	380	0.371	8.812	2.873	4.202	1.7375	0.182	1.09	2.23
380	390	390	0.385	9.198	2.873	4.391	1.9336	0.196	1.18	2.31
390	400	400	0.401	9.598	2.873	4.581	2.1448	0.211	1.27	2.40
400	410	410	0.417	10.015	2.873	4.770	2.3720	0.227	1.36	2.50

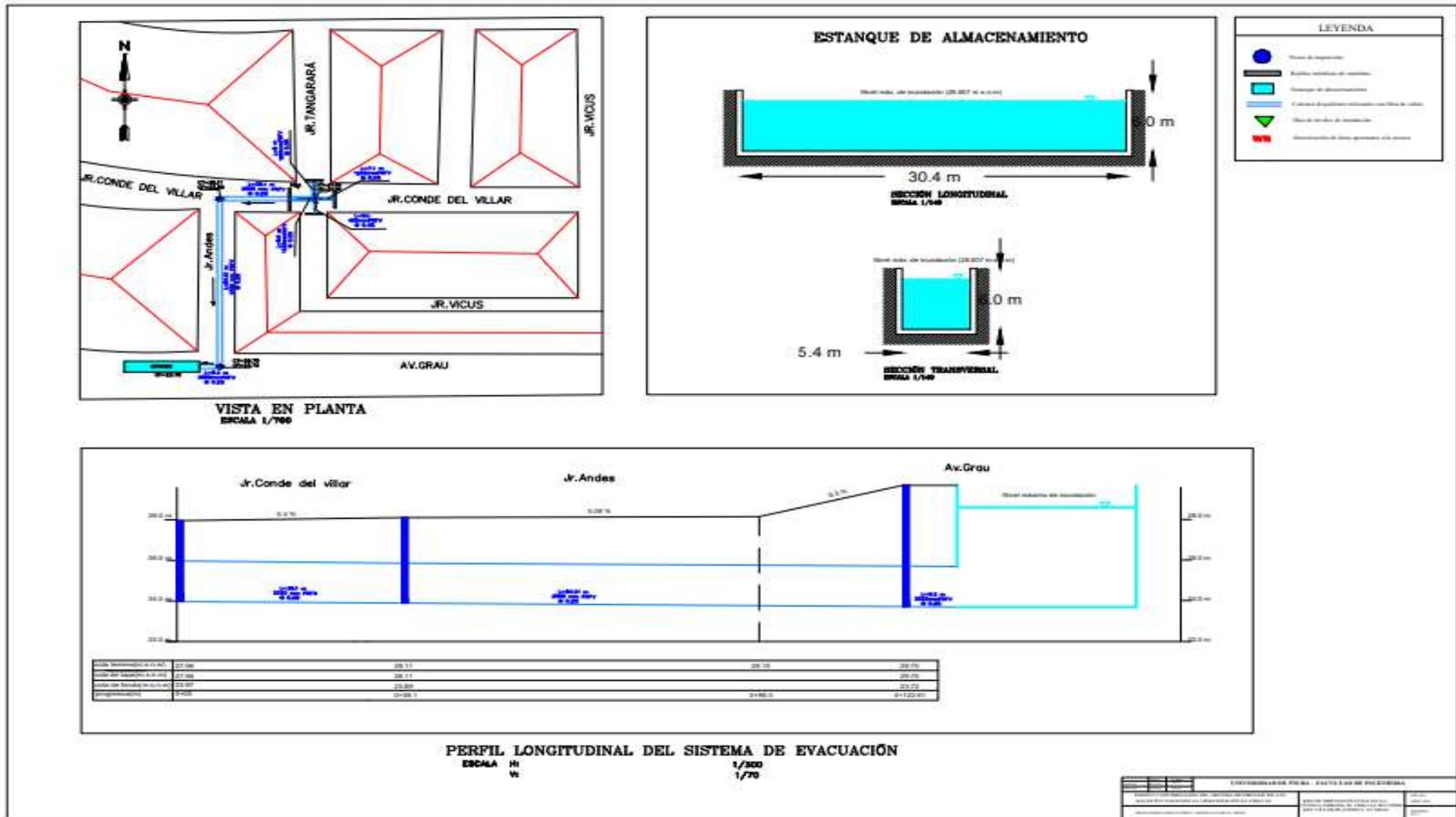
Desde	Hasta	T(min)	P(mm)	Pacum (mm)	Ia	Fa	Pe acum(mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)	I(mm/h)
410	420	420	0.434	10.450	2.873	4.960	2.6164	0.244	1.47	2.61
420	430	430	0.453	10.903	2.873	5.151	2.8793	0.263	1.58	2.72
430	440	440	0.474	11.376	2.873	5.341	3.1620	0.283	1.70	2.84
440	450	450	0.496	11.872	2.873	5.533	3.4663	0.304	1.83	2.97
450	460	460	0.520	12.392	2.873	5.725	3.7938	0.328	1.97	3.12
460	470	470	0.546	12.938	2.873	5.918	4.1467	0.353	2.12	3.28
470	480	480	0.575	13.512	2.873	6.112	4.5272	0.381	2.28	3.45
480	490	490	0.606	14.118	2.873	6.308	4.9381	0.411	2.46	3.64
490	500	500	0.641	14.759	2.873	6.504	5.3822	0.444	2.66	3.84
500	510	510	0.679	15.438	2.873	6.702	5.8631	0.481	2.89	4.08
510	520	520	0.722	16.160	2.873	6.902	6.3849	0.522	3.13	4.33
520	530	530	0.769	16.930	2.873	7.104	6.9522	0.567	3.40	4.62
530	540	540	0.823	17.752	2.873	7.309	7.5706	0.618	3.71	4.94
540	550	550	0.883	18.635	2.873	7.515	8.2466	0.676	4.06	5.30
550	560	560	0.951	19.586	2.873	7.725	8.9879	0.741	4.45	5.71
560	570	570	1.029	20.614	2.873	7.938	9.8038	0.816	4.90	6.17
570	580	580	1.118	21.732	2.873	8.154	10.7056	0.902	5.41	6.71
580	590	590	1.222	22.954	2.873	8.374	11.7071	1.001	6.01	7.33
590	600	600	1.343	24.297	2.873	8.599	12.8253	1.118	6.71	8.06
600	610	610	1.486	25.783	2.873	8.829	14.0817	1.256	7.54	8.92
610	620	620	1.657	27.441	2.873	9.065	15.5034	1.422	8.53	9.94
620	630	630	1.864	29.305	2.873	9.307	17.1257	1.622	9.73	11.19
630	640	640	2.119	31.424	2.873	9.556	18.9949	1.869	11.22	12.71
640	650	650	2.437	33.861	2.873	9.815	21.1734	2.179	13.07	14.62
650	660	660	2.843	36.704	2.873	10.083	23.7476	2.574	15.45	17.06
660	670	670	3.373	40.076	2.873	10.363	26.8402	3.093	18.56	20.24
670	680	680	4.086	44.162	2.873	10.657	30.6326	3.792	22.75	24.52
680	690	690	5.082	49.245	2.873	10.967	35.4048	4.772	28.63	30.49
690	700	700	6.540	55.785	2.873	11.297	41.6144	6.210	37.26	39.24
700	710	710	8.807	64.592	2.873	11.652	50.0664	8.452	50.71	52.84
710	720	720	12.646	77.238	2.873	12.039	62.3260	12.260	73.56	75.88
720	730	730	15.669	92.907	2.873	12.388	77.6459	15.320	91.92	94.01
730	740	740	10.452	103.359	2.873	12.568	87.9185	10.273	61.64	62.71
740	750	750	7.539	110.898	2.873	12.678	95.3469	7.428	44.57	45.23
750	760	760	5.737	116.636	2.873	12.754	101.0088	5.662	33.97	34.42
760	770	770	4.540	121.176	2.873	12.809	105.4940	4.485	26.91	27.24
770	780	780	3.702	124.878	2.873	12.851	109.1533	3.659	21.96	22.21
780	790	790	3.089	127.967	2.873	12.885	112.2088	3.055	18.33	18.53
790	800	800	2.627	130.593	2.873	12.912	114.8083	2.599	15.60	15.76
800	810	810	2.269	132.862	2.873	12.935	117.0541	2.246	13.48	13.61
810	820	820	1.985	134.847	2.873	12.954	119.0197	1.966	11.79	11.91
820	830	830	1.756	136.603	2.873	12.971	120.7588	1.739	10.43	10.53

Desde	Hasta	T(min)	P(mm)	Pacum (mm)	Ia	Fa	Pe acum(mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)	I(mm/h)
830	840	840	1.568	138.171	2.873	12.986	122.3120	1.553	9.32	9.41
840	850	850	1.412	139.582	2.873	12.999	123.7107	1.399	8.39	8.47
850	860	860	1.280	140.862	2.873	13.010	124.9792	1.268	7.61	7.68
860	870	870	1.168	142.030	2.873	13.020	126.1369	1.158	6.95	7.01
870	880	880	1.072	143.102	2.873	13.030	127.1993	1.062	6.37	6.43
880	890	890	0.988	144.090	2.873	13.038	128.1792	0.980	5.88	5.93
890	900	900	0.916	145.006	2.873	13.046	129.0871	0.908	5.45	5.49
900	910	910	0.852	145.858	2.873	13.053	129.9317	0.845	5.07	5.11
910	920	920	0.795	146.653	2.873	13.060	130.7203	0.789	4.73	4.77
920	930	930	0.745	147.398	2.873	13.066	131.4591	0.739	4.43	4.47
930	940	940	0.700	148.098	2.873	13.071	132.1533	0.694	4.17	4.20
940	950	950	0.659	148.757	2.873	13.077	132.8074	0.654	3.93	3.96
950	960	960	0.623	149.380	2.873	13.082	133.4255	0.618	3.71	3.74
960	970	970	0.590	149.970	2.873	13.086	134.0108	0.585	3.51	3.54
970	980	980	0.560	150.530	2.873	13.091	134.5664	0.556	3.33	3.36
980	990	990	0.533	151.063	2.873	13.095	135.0948	0.528	3.17	3.20
990	1000	1000	0.507	151.570	2.873	13.099	135.5983	0.504	3.02	3.04
1000	1010	1010	0.484	152.055	2.873	13.103	136.0789	0.481	2.88	2.91
1010	1020	1020	0.463	152.518	2.873	13.106	136.5385	0.460	2.76	2.78
1020	1030	1030	0.444	152.961	2.873	13.110	136.9787	0.440	2.64	2.66
1030	1040	1040	0.425	153.387	2.873	13.113	137.4009	0.422	2.53	2.55
1040	1050	1050	0.409	153.795	2.873	13.116	137.8063	0.405	2.43	2.45
1050	1060	1060	0.393	154.188	2.873	13.119	138.1962	0.390	2.34	2.36
1060	1070	1070	0.378	154.566	2.873	13.122	138.5717	0.375	2.25	2.27
1070	1080	1080	0.365	154.931	2.873	13.125	138.9336	0.362	2.17	2.19
1080	1090	1090	0.352	155.283	2.873	13.127	139.2828	0.349	2.10	2.11
1090	1100	1100	0.340	155.623	2.873	13.130	139.6202	0.337	2.02	2.04
1100	1110	1110	0.329	155.951	2.873	13.132	139.9464	0.326	1.96	1.97
1110	1120	1120	0.318	156.269	2.873	13.134	140.2621	0.316	1.89	1.91
1120	1130	1130	0.308	156.578	2.873	13.137	140.5680	0.306	1.84	1.85
1130	1140	1140	0.299	156.876	2.873	13.139	140.8645	0.297	1.78	1.79
1140	1150	1150	0.290	157.166	2.873	13.141	141.1523	0.288	1.73	1.74
1150	1160	1160	0.281	157.448	2.873	13.143	141.4316	0.279	1.68	1.69
1160	1170	1170	0.273	157.721	2.873	13.145	141.7032	0.272	1.63	1.64
1170	1180	1180	0.266	157.987	2.873	13.147	141.9672	0.264	1.58	1.60
1180	1190	1190	0.259	158.246	2.873	13.149	142.2241	0.257	1.54	1.55
1190	1200	1200	0.252	158.498	2.873	13.151	142.4742	0.250	1.50	1.51
1200	1210	1210	0.245	158.743	2.873	13.152	142.7180	0.244	1.46	1.47
1210	1220	1220	0.239	158.982	2.873	13.154	142.9556	0.238	1.43	1.44
1220	1230	1230	0.233	159.216	2.873	13.156	143.1873	0.232	1.39	1.40
1230	1240	1240	0.228	159.444	2.873	13.157	143.4135	0.226	1.36	1.37
1240	1250	1250	0.222	159.666	2.873	13.159	143.6344	0.221	1.33	1.33

Desde	Hasta	T(min)	P(mm)	Pacum (mm)	Ia	Fa	Pe acum(mm)	Pe (mm)	Ie (mm/h)	I(mm/h)
1250	1260	1260	0.217	159.883	2.873	13.160	143.8501	0.216	1.29	1.30
1260	1270	1270	0.212	160.096	2.873	13.162	144.0610	0.211	1.27	1.27
1270	1280	1280	0.208	160.303	2.873	13.163	144.2672	0.206	1.24	1.25
1280	1290	1290	0.203	160.507	2.873	13.165	144.4690	0.202	1.21	1.22
1290	1300	1300	0.199	160.705	2.873	13.166	144.6664	0.197	1.18	1.19
1300	1310	1310	0.195	160.900	2.873	13.167	144.8597	0.193	1.16	1.17
1310	1320	1320	0.191	161.091	2.873	13.169	145.0491	0.189	1.14	1.14
1320	1330	1330	0.187	161.278	2.873	13.170	145.2346	0.186	1.11	1.12
1330	1340	1340	0.183	161.461	2.873	13.171	145.4165	0.182	1.09	1.10
1340	1350	1350	0.180	161.640	2.873	13.173	145.5949	0.178	1.07	1.08
1350	1360	1360	0.176	161.816	2.873	13.174	145.7698	0.175	1.05	1.06
1360	1370	1370	0.173	161.989	2.873	13.175	145.9415	0.172	1.03	1.04
1370	1380	1380	0.170	162.159	2.873	13.176	146.1100	0.169	1.01	1.02
1380	1390	1390	0.167	162.326	2.873	13.177	146.2754	0.165	0.99	1.00
1390	1400	1400	0.164	162.489	2.873	13.178	146.4380	0.163	0.98	0.98
1400	1410	1410	0.161	162.650	2.873	13.180	146.5976	0.160	0.96	0.96
1410	1420	1420	0.158	162.808	2.873	13.181	146.7545	0.157	0.94	0.95
1420	1430	1430	0.155	162.963	2.873	13.182	146.9088	0.154	0.93	0.93
1430	1440	1440	0.153	163.116	2.873	13.183	147.0605	0.152	0.91	0.92



Apéndice E: Plano del Sistema de drenaje pluvial de la urbanización El Chilcal



Anexos



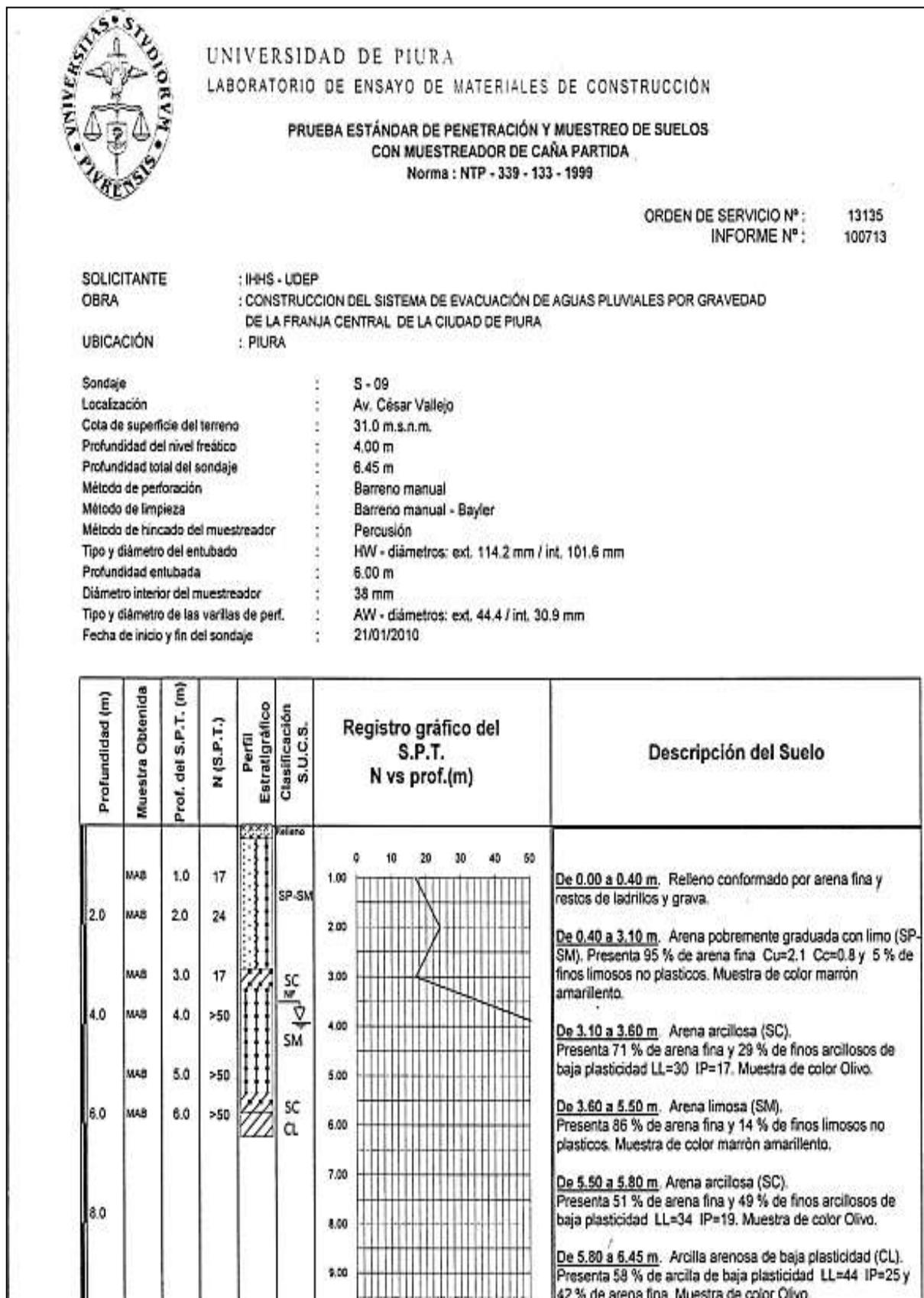


Anexo A.1: Perfil estratigráfico típico obtenido del barreno manual P-13

		LEMC - 2010	ESTUDIO DE SUELOS		HOJA	11 de 29	
		PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES POR GRAVEDAD DE LA FRANJA CENTRAL DE LA CIUDAD DE PIURA			FECHA	MARZO 2010	
PROFUNDIDAD (m)	MUESTRA OBTENIDA	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	PERFIL ESTRATIGRÁFICO	CLASIFICACIÓN S.A.C.C.B.	DESCRIPCIÓN DEL SUELO
0.00							
1.0						Relleno	<p><u>De 0.00 a 0.20 m.</u> Relleno constituido por arena limosa, restos de ladrillo. Material orgánico (raíces) desechos de ladrillos</p> <p><u>De 0.20 a 4.00 m.</u> Arena pobremente graduada (SP). Presenta 98% de arena fina $C_u = 2.1$ $C_c = 0.9$ y 2% de finos no plásticos. Muestra de color marrón amarillento claro. Clasificación AASHTO: A-3 (0)</p>
2.0	Mab					SP	<p><u>De 4.00 a 5.40 m.</u> Arcilla de alta plasticidad (CH). Presenta 93% de finos arcillosos de alta plasticidad $LL = 59$ $IP = 34$ y 7% de arena fina. Muestra de color olivo.</p>
3.0							<p><u>De 5.40 a 6.00 m.</u> Arcilla arenosa de baja plasticidad (CL). Presenta 64% de finos arcillosos de baja plasticidad $LL = 27$ $IP = 8$ y 36% de arena fina. Muestra de color olivo.</p>

Fuente: Sandoval, 2010.

Anexo A.2: Sondeaje N° 09



Fuente: Sandoval, 2010.