

Propuesta de mejora de evacuación de aguas lluvias en el sector centro de Quintero, mediante cubos de polipropileno y elementos prefabricados de Hormigón

Por
Jordan Marcelo Guerrero Verdejo

Tesis o Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en Ciencias de la
Construcción y al Título de Ingeniero Constructor.

Profesor guía, Fernando Salas Riquelme.

Valparaíso, Diciembre 2022.

Lista de Figuras

Figura 1.1- Área Sector Urbano Comuna de Quintero, en color rojo sector Avenida Normandie. ...	11
Figura 1.2- Área de propuesta Proyecto drenaje vial Avenida Normandie comuna de Quintero.	12
Figura 1.3- Zonas propensas a inundación comuna de Quintero	12
Figura 1.4- Topografía y colectores comuna de Quintero.	12
Figura 1.5- Avenida Normandie comuna de Quintero sector centro-sur, lluvia 26 de abril 2022. ...	13
Figura 1.6- Avenida Normandie comuna de Quintero sector centro-norte, lluvia 26 abril 2022.	13
Figura 1.7- Ciclo hidrológico natural y esquema cantidad de esorrentía natural	22
Figura 1.8- Reparto de esorrentía e infiltración en un entorno natural, rural y urbano	24
Figura 1.9- Ciclo hidrológico natural y esquema cantidad de esorrentía natural.	24
Figura 1.10- Comportamiento de pavimentos	29
Figura 2.1- Esquema para la obtención de Cs.	45
Figura 2.2- Imagen referencial Cubo Dren.	49
Figura 2.3- Imagen referencial proceso de nivelación.	50
Figura 2.4- Imagen referencial proceso de colocación del geotextil e instalación de cubo dren.	50
Figura 2.5- Imagen referencial proceso de envolver el cubo dren.	51
Figura 2.6- Imagen referencial Conexión opción con tubo incrustado.	51
Figura 2.7- Imagen referencial Conexión opción con tubo sobre puesto.	52
Figura 2.8- Tipo Conexión Infiltración Directa: Proyecto Planta Occidental en Königsberg	52
Figura 2.9- Imagen referencial proceso de relleno	53
Figura 2.10- Fuentes y productos comercializados	54
Figura 3.1- Macrozonas homogéneas para el drenaje urbano en Chile.	55
Figura 3.2- Precipitación anual registrada en Quintero 2022.	58
Figura 3.3- Delimitación demográfica Comuna de Quintero.	59
Figura 3.4- Rutas de conexión vial.	60
Figura 4.1- Estación Punta Ángeles información general y emplazamiento.	63
Figura 4.2- Histograma de Frecuencia Relativa.	67
Figura 4.3- Gráfico curvo de frecuencia: Alturas para distintos Periodos de Retorno.	68
Figura 4.4- Gráfico hp proyectadas máximas para distintos Periodos de Retorno	73

Figura 4.5- Términos d , n y R para un periodo de retorno $T=10$ años.	76
Figura 4.6- Gráfica de regresión $d = k \cdot T^m$	77
Figura 4.7- Gráfico Curva IDF para Tr : 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años; duración 60 min.	78
Figura 4.8- Gráfico Curva IDF para Tr : 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años; duración 24 hrs.	79
Figura 4.9- Histograma proyectado $T=10$ años y tiempo de duración 1 hora.	80
Figura 4.10- Gráfico alturas de precipitación para un periodo de 10 años y duración 60 minutos. .	82
Figura 5.1- Método Racional: condiciones para cálculo de intensidad.	83
Figura 5.2- Área de estudio para caudal aportante derivados a Avenida Normandie.	84
Figura 5.3- Dirección escorrentía superficial.	85
Figura 5.4- Clasificación de Predios mediante programa EPA SWMM 5.2	86
Figura 6.1- Criterios de selección de obras alternativas.	89
Figura 6.2- Sectorización de elementos pluviales:	90
Figura 6.3- Zonas propensas a anegamiento	90
Figura 6.4- Representación medidas utilizadas en Ensayo de Porchet	91
Figura 6.5- Coeficientes de permeabilidad para distintos suelos.	93
Figura 6.6- Capacidad de infiltración para Ensayo N°1.....	95
Figura 6.7- Capacidad de infiltración para Ensayo N°2.....	95
Figura 6.8- Porcentaje de agua infiltrada durante Ensayo N°1	96
Figura 6.9- Porcentaje de agua infiltrada durante Ensayo N°2	96
Figura 6.10- Gráfico velocidad de infiltración	98
Figura 6.11- Zonificación para análisis de escorrentía superficial y caudales aportantes.	98
Figura 6.12- Zonificación a intervenir.	105
Figura 6.13- Zona 1: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	105
Figura 6.14- Zona 2: Sumideros y Colectores.	106
Figura 6.15- Zona 3: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	107
Figura 6.16- Zona 3: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	107
Figura 6.17- Zona 4: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	108
Figura 6.18- Zona 4: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	108
Figura 6.19- Zona 5: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	109
Figura 6.20- Zona 5: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.	109
Figura 6.21- Diseño de zanja para la instalación de cubos dren en Zonas (1-3-4-5).....	111
Figura 6.22- Diseño de zanja para la instalación de cubos dren en Zonas 5.....	111

Figura 6.23- Imagen Referencial Tipos de Captadores de calzada.....	112
Figura 6.24- Imagen Referencial Tipos de “vario” cubo captador de agua lluvia directa.....	112
Figura 6.25- Ejemplo Diseño de Sumidero Sendos Tipo S2 implementado.	114
Figura 6.26- Ejemplo Diseño de rejilla horizontal Tipo 1 para sumideros S1 y S2.....	115
Figura 6.26- Ejemplo de referencia cámara decantadora	116
Figura 6.27- Ejemplo Tubería corrugada HDPE (NCh 2465)	117
Figura 6.28- Cuadro de detalle Tuberías Corrugadas.	117
Figura 6.29- Cubo Dren Insyttec	123
Figura 6.30- Gasto total compra cubo dren	123
Figura 6.31 - Presupuesto Proyecto	124
Figura 6.32 – Costos de emplear cubo dren.....	125
Figura 6.32 – Costos de emplear bolón	126

Lista de Tablas

Tabla 1.1- Normas utilizadas para distintos tipos de materiales	30
Tabla 2.1- Tabla Coeficientes de duración	40
Tabla 2.2- Tabla de coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración.	41
Tabla 2.3- Coeficiente de duración para lluvias de menos de 1 hora	42
Tabla 2.4- Coeficiente de Escorrentía.....	44
Tabla 2.5- Precios y Características Cubos Dren.	54
Tabla 3.1- Precipitación total mensual de 2020 en Chile	56
Tabla 3.2- División Político-Administrativo y Censal Comuna de Quintero.	59
Tabla 4.1- Precipitación Máxima en 24 horas, Estación Punta Ángeles	64
Tabla 4.2- Precipitación Máxima en 24 horas	65
Tabla 4.3- Tabla Histograma de Frecuencias, Frecuencia Relativa y Absoluta.	66
Tabla 4.4- Cálculo de Tr y Probabilidad de excedencia	68
Tabla 4.5- Precipitación mm máximo en 24 horas registro anual	70
Tabla 4.6- Cálculos variables probabilísticas	71
Tabla 4.7- Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes Periodos de Retorno.	72
Tabla 4.8- Proyección hp máximos (Ecc. de Gumbel).	73
Tabla 4.9- Coeficientes para relaciones a precipitación de duración 24 horas.	74

Tabla 4.10- Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.	74
Tabla 4.11- Intensidad de lluvia 24 horas según Período de Retorno.....	75
Tabla 4.12- Regresión potencial para distintos Periodos de Retorno.	76
Tabla 4.13- Regresión potencial, constante de regresión K y coeficiente de regresión m.....	77
Tabla 4.14- Valores de intensidad de precipitación según frecuencia y duración.	78
Tabla 4.15- Valores de intensidad de precipitación según frecuencia y duración 24 horas.....	79
Tabla 4.16- Cálculo de intensidad acumulada	80
Tabla 4.17- Cálculo de alturas de precipitación.....	82
Tabla 5.1- Clasificación de áreas por tipo de zona aportantes.....	87
Tabla 5.2- Resumen de Áreas aportantes de caudal	87
Tabla 5.3- Cálculo de Coeficiente de Escorrentía Ponderado Total.	87
Tabla 5.4- Resumen de valores obtenidos para emplear en la Ecuación de Método Racional	88
Tabla 6.1- Cálculo de alturas de infiltración en tiempos determinados Ensayo Porchet N°1.	92
Tabla 6.2- Cálculo de alturas de infiltración en tiempos determinados Ensayo Porchet N°2.	94
Tabla 6.3- Cálculo velocidad de infiltración (cm/hra)	97
Tabla 6.4- Zonas de estudio para obtención de Coeficiente de Escorrentía y Caudales	99
Tabla 6.5- Área impermeable según coeficiente de escorrentía.	99
Tabla 6.6- Caudales aportantes por zonificación.	99
Tabla 6.7- Intensidad media acumulada en 24 horas.....	100
Tabla 6.8- Volumen Afluente por zonificación.	101
Tabla 6.9- Dimensiones zanjas y Área de percolación (m2).....	102
Tabla 6.10- Resumen volumen afluente para t: 1hr y Q calculados por zonificación	102
Tabla 6.11- Parámetros de Infiltración por zona: Tasa (cm/h) y Volumen (m3).	103
Tabla 6.12- Volúmenes (afluente, infiltración y almacenamiento proyectado).....	103
Tabla 6.13- Volumen de almacenamiento con rugosidad de material relleno	104
Tabla 6.14- Dimensiones proyectadas de zanjas por zona (Zona 2 excluida)	110
Tabla 6.15- Cubo dren Insytec características	113
Tabla 6.16- Cálculo sumideros tipo S-2	114
Tabla 6.17- Cámaras proyectadas (inspección y decantadoras)	116
Tabla 6.18- Q(m3/s) efectivos en puntos críticos de zonas	118
Tabla 6.19- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 400mm	118
Tabla 6.20- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 450mm	119

Tabla 6.21- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 500mm	119
Tabla 6.22- Longitud de Tuberías HDPE 500 mm.....	121
Tabla 6.23- Cantidad de tuberías a utilizar.	121
Tabla 6.24- Ejemplo tipo dimensionamiento y espacios de instalación de tuberías	122

Índice

Introducción	9
Planteamiento del Problema	10
Perspectiva Mundial	10
Perspectiva Comuna de Quintero	10
Pregunta de Investigación o Problema de Trabajo	14
Alcance del Estudio	14
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Metodología	15
Capítulo I: Problemática general del drenaje en pavimentos urbanos	22
1. Marco Teórico	22
1.1 Ciclo Hidrológico.....	22
1.2 Ciclo Hidrológico Urbano	23
1.3 Zonas Urbanas.....	25
1.4 Inundación y Anegamiento	26
1.5 Escorrentía	27
1.6 Caracterización Hidrológica	28
1.7 Pavimentos	29
2 Estado del Arte:	32
2.1 Marco Metodológico.....	32
2.2 Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible	33
2.3 Marco Normativo	36

2.4	Metodología de cálculo	39
2.5	Chile y el uso de cubos de polipropileno como sistema SUDS.....	46
2.6	Cubo Dren de Polipropileno	48
2.7	Mercado Chileno	53
Capítulo II: Aspectos generales del sector, hidrología y sus variables influyentes en el dimensionamiento del drenaje.....		55
3.	Marco Geográfico	55
3.1	Clima: Clasificación Territorial.....	55
3.2	Clima: Comuna de Quintero	57
3.3	Aspectos Geomorfológicos	58
3.4	Hidrología	59
3.5	Emplazamiento y Demografía	59
3.6	Red vial existente.....	60
3.7	Área Urbana	61
3.8	Tipo de Suelo.....	61
Capítulo III: Análisis hidrológico de zonas inundables en Av. Normandie, Quintero		62
4.	Lluvia de diseño	62
4.1	Metodología.....	62
4.2	Concepto y obtención de datos	63
4.3	Histograma de Frecuencia	65
4.4	Curva de Frecuencia y probabilidad de excedencia Ecc.Weibull	67
4.5	Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	69
4.6	Estimación Periodo de Retorno.....	73
4.7	Coeficientes para relación de Lluvia de 24 horas.....	74
4.8	Cálculo de precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración.	74
4.9	Intensidades de lluvia a partir de Precipitación diaria (Pd)	74
4.10	Representación matemática de las curvas IDF	75
4.11	Ecuación de Intensidad y curvas IDF	78
4.12	Proyección altura de precipitación	81
5.	Caudal aportante	83
5.1	Método Racional	83
5.2	Intensidad:	83
5.3	Coeficiente de Escorrentía.....	84

Capítulo IV: Implementación SUDS mediante cubo de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón.....	89
6. Propuesta de Solución	89
6.1 Selección de Obras.....	89
6.2 Determinación de zona y puntos críticos	90
6.3 Ensayo de Infiltración Método Porchet.....	91
6.4 Clasificación Zonal (escorrentía y caudal aportante)	98
6.5 Volumen de afluente Acumulado	100
6.6 Volumen Infiltrado.....	102
6.7 Volumen de almacenamiento	103
6.8 Emplazamiento	104
6.9 Dimensiones de Zanjas de infiltración	110
6.10 Elementos y Costos de instalación	113
6.11 Presupuesto	123
6.12 Comparativa Económica.....	125
Conclusión:	127
Anexos	128
Anexo 1: Periodos de Retorno para $T = 2$ a 500 años.	128
Anexo 2: Clasificación de áreas aportantes de caudal hacia Avenida Normandie.....	133
Bibliografía	137

Introducción

El fenómeno de inundaciones urbanas según menciona (Alfaro Rosales, 2017), está relacionado con la falta de capacidad de diseño de los sistemas de drenaje cuando se presenta una precipitación elevada generando un problema a nivel global que tiene por consiguiente consecuencias económicas y sociales.

Los actuales métodos tradicionales de drenaje urbano presentan problemas y carencias que pueden solucionarse mediante el uso de métodos de drenaje sostenible. Esto supone hacer un esfuerzo, no en concentrar las aguas pluviales lo antes posible, sino en hacer frente a la escorrentía en pequeñas cuencas que permitan el tratamiento completo desde su origen. (Castro Fresno, Rodríguez Bayón, Rodríguez Hernández, & Ballester Muñoz, Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds), 2005).

En periodos de lluvias con intensidad medias a moderadas Quintero se ha caracterizado por estar en déficit en materia de drenaje vial presentando en diversas ocasiones problemas de inundación y anegamiento en diversos sectores de la península.

Avenida Normandie es la vía principal de acceso a la península y sector céntrico de la comuna urbana, contempla aproximadamente 3 km de longitud de Sur a Norte y al estar en una cota inferior a las demás calles del sector en esta desembocan la mayoría de los caudales generados en épocas de lluvia produciendo escorrentías superficiales y dificultando el tránsito tanto vehicular como peatonal. Si bien se han generado soluciones para mitigar los inconvenientes presentados, aun presenta un grave problema sin solución, en donde en reiteradas ocasiones el municipio ha debido implementar planes de mitigación de emergencia comunal desviando el tránsito a vías secundarias generando congestiones en dichos lugares.

La importancia de realizar este proyecto como se menciona anteriormente es la necesidad de satisfacer un problema común en donde se hace fundamental implementar una alternativa de drenaje de aguas lluvias para el control de esta, a fin de canalizar ese volumen, redirigirlo y/o almacenarlo de acuerdo a fines pertinentes reduciendo la escorrentía superficial del pavimento.

Tomando en consideración presentar una solución que se adapte a las condiciones económicas de la Ilustre Municipalidad de Quintero se analiza una solución alternativa SUDS a fin de que esta pueda considerarse en un futuro dentro del programa pavimentos participativos del MINVU en donde regularmente utilizan soluciones provenientes de la categoría zanjas de infiltración las cuales brindan soluciones urbanas ideales para construirlas bajo veredas o pavimentos. Como una alternativa al diseño convencional mencionado anteriormente se planteará una propuesta de solución de evacuación de aguas lluvias mediante el uso de los denominados cubos de polipropileno o cubos de infiltración (cubo dren) y elementos prefabricados de hormigón en Avenida Normandie, zona centro urbana de la comuna de Quintero.

Planteamiento del Problema

Perspectiva Mundial

Como es bien sabido las inundaciones se producen como consecuencia de procesos de recurrencia interanual como son las crecidas de los cursos de aguas, las cuales a su vez se ven acrecentadas por el déficit o ineficiencia de los sistemas de evacuación pluvial respectivos, ya sean naturales o drenajes artificiales, en donde se produce un desequilibrio entre el volumen hídrico a evacuar en un determinado tiempo y la capacidad máxima de evacuación de los cauces o sistemas de drenajes establecidos. Se debe tener en cuenta que la demanda como tal no solamente está compuesta por un volumen hídrico puro, sino que también contempla en gran parte sedimentos transportados los cuales influyen directamente en los desbordes de los cauces. (Ferrando & Francisco , 2006)

Desde mediados del siglo XX se vienen observando cambios en la intensidad y la frecuencia de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2020) Dichos cambios incluyen un descenso de las temperaturas extremadamente bajas, un aumento de las temperaturas extremadamente altas, la subida de los niveles extremadamente altos del mar y un aumento en el número de los eventos de lluvias torrenciales en una serie de regiones (Min et al., 2011).

Las inundaciones globales y las lluvias torrenciales extremas han aumentado más de un 50% esta década y ahora se dan con una frecuencia cuatro veces mayor que en 1980 (UNESCO, 2020).

Perspectiva Comuna de Quintero

La comuna de Quintero es una Ciudad-balneario ubicada en la V región, a 170 kilómetros de Santiago y a 50 kilómetros de Viña del Mar. Se puede acceder desde Santiago por la ruta 68 siguiendo por el camino La Palma, Concón y atravesando el río Aconcagua. También es posible desde el Norte (Ruta 5 Norte) o desde el Sur (Ruta 5 Sur), por La Calera y la nueva carretera Nogales-Puchuncaví. Actualmente se encuentra normado respecto al Plan Regulador Metropolitano de Valparaíso donde se dispone de normas generales y disposiciones específicas para el territorio, siendo una de ellas la división de este en: a) Áreas urbanas, b) Áreas de extensión urbana y c) Área rural. La población residente censada el año 2017 para la comuna de Quintero fue de 31.923 habitantes con una proyección hacia 2021 de 36.821 Hab. con una variación de un 15%. (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, s.f.)

La Ciudad se encuentra ubicada en una zona con clima Cs (templado-cálido, con lluvias invernales), estación seca prolongada (8 a 7 meses, dicha estación se inicia en pleno período primaveral para terminar a mediados de abril.) y gran nubosidad. Los vientos dominantes son los del oeste, que soplan con fuerza en la costa, pero en el interior son moderados. En invierno dominan los vientos del NW, causantes de lluvias porque provienen de zonas más cálidas. Con respecto a la temperatura, de acuerdo a la data disponible, se puede estimar como un promedio anual representativo de la comuna, un valor de 13,7°C. (Rodríguez Arratia, 2003).

El sistema de drenaje de la ciudad, está constituido por las depresiones del relieve, que, en forma radial, disponen las aguas lluvias hacia el océano en la península y hacia terrenos de la Fuerza Aérea de Chile (FACH) en el sector céntrico, adyacente al municipio (Rodríguez Arratia, 2003). En los últimos años las familias residentes se han visto afectadas debido al anegamiento en diferentes puntos del acceso principal a la península, Avenida Normandie, anegando todo el sector céntrico y comercial, además de otros múltiples sectores como es la vía de acceso a la ciudad que imposibilitan el tránsito normal vehicular provocando desvíos por calles o accesos habilitados de emergencia, si bien han existido proyectos anteriores de estudio y mejoras de colectores en la península, el sector sur de esta que comprende desde la intersección de Avenida Normandie con calle Vicuña, hasta la intersección norte de la misma con calle Alonso de Quintero abarcando aproximadamente 3 kilómetros de longitud, se ve afectado por escorrentías al momento de ocurrir precipitaciones leves a moderadas en un lapsus de tiempo prolongado, esto se dejó evidenciado en un levantamiento fotográfico realizado horas después de iniciarse lluvias el pasado 26 de abril de 2022 en donde se evidenció la problemática planteada anteriormente.

Precisamente, los “Sistemas urbanos de drenaje sostenible” (SUDS) proporcionan una alternativa viable como complemento a los sistemas de drenaje tradicionales, permitiendo combatir problemas de calidad, cantidad y servicio de las escorrentías urbanas como también abordar el diseño, gestión y control de las aguas lluvias otorgando una misma importancia a criterios hidrológicos, medioambientales y sociales.

El propósito de este trabajo consiste en realizar un análisis y posterior propuesta de mejora al sistema de drenaje actual de aguas pluviales aplicando la técnica de drenaje sostenible perteneciente a los SUDS “zanjas de infiltración” empleando cubos de polipropilenos o cubos drenantes.



*Figura 1.1- Área Sector Urbano Comuna de Quintero, en color rojo sector Avenida Normandie.
Fuente: Elaboración propia.*



Figura 1.2- Área de propuesta Proyecto drenaje vial Avenida Normandie comuna de Quintero.
 Fuente: Elaboración propia

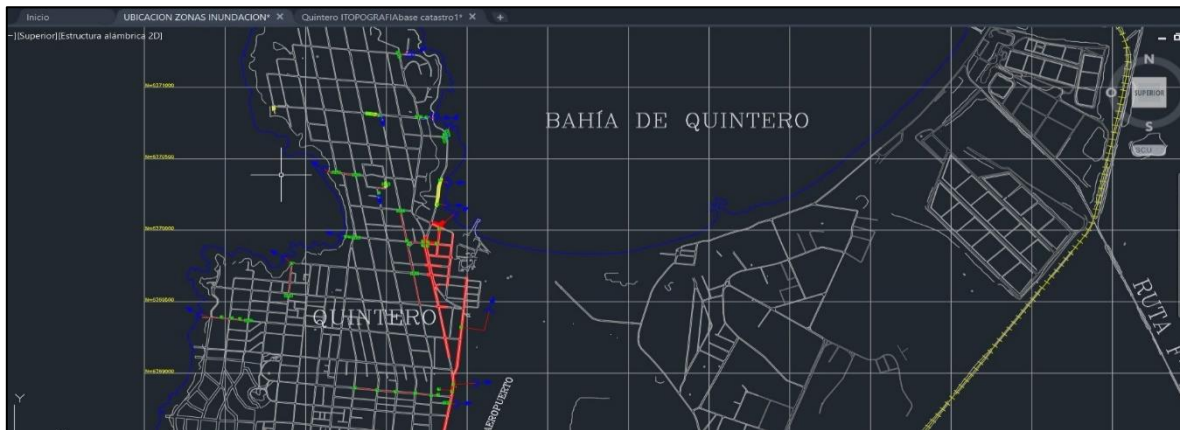


Figura 1.3- Zonas propensas a inundación comuna de Quintero
 Fuente: Registro SECPLAN Quintero

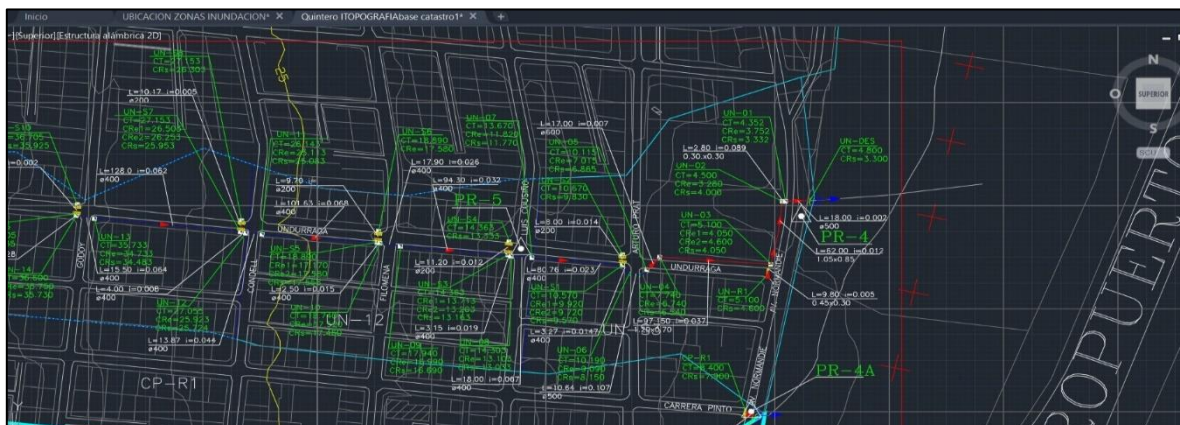


Figura 1.4- Topografía y colectores comuna de Quintero.
 Fuente: Registro SECPLAN Quintero



*Figura 1.5- Avenida Normandie comuna de Quintero sector centro-sur, lluvia 26 de abril 2022.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*



*Figura 1.6- Avenida Normandie comuna de Quintero sector centro-norte, lluvia 26 abril 2022.
Fuente: Elaboración propia, 2022.*

Pregunta de Investigación o Problema de Trabajo

En la avenida Normandie, acceso principal a la península de Quintero se generan inconvenientes tanto vehicular como peatonal en épocas de lluvia, originando escorrentías a raíz del caudal generado, el cual se acumula paulatinamente en el pavimento vial provocando anegamientos desproporcionados, ante esto y pensando en una solución sustentable que perdure a largo plazo ¿Cómo se podría generar un proyecto SUDS complementario a la red de drenaje vial establecida a fin de disminuir los volúmenes superficiales de aguas lluvias y evitar los problemas reiterados que por años sufre la comuna de Quintero?.

A fin de lo expuesto anteriormente se plantea como finalidad de este trabajo una propuesta de solución de evacuación de aguas lluvias mediante cubos de polipropileno y elementos prefabricados de Hormigón en Avenida Normandie, zona centro urbana de la comuna de Quintero, la cual presenta problemas de inundación y anegamiento dificultando en dichos periodos el acceso a la bahía y sector céntrico de esta congestionando el tránsito vial en vías secundarias y activando planes de mitigación de emergencia comunal.

La importancia de realizar este proyecto es la necesidad de satisfacer un problema común que se encuentra en la comuna de Quintero en épocas de lluvia en donde se hace fundamental implementar una alternativa de drenaje para el control de estas. A fin, de canalizar ese volumen, redirigirlo y/o almacenarlo de acuerdo a fines pertinentes reduciendo la escorrentía superficial del pavimento.

Alcance del Estudio

La propuesta solo se limita a un estudio teórico de implementación de cubos de polipropilenos y elementos prefabricados de hormigón como posible solución a los problemas de anegamiento en Avenida Normandie en la comuna de Quintero.

Se hará un diagnóstico general del centro de la comuna de Quintero respecto de identificar zonas inundables y los posibles puntos de instalación del proyecto.

Objetivos

Objetivo General

Proponer una mejora vial que sirva de apoyo a la evacuación de aguas lluvias mediante cubos de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón en el sector centro de la comuna de Quintero.

Objetivos Específicos

- Determinar los puntos críticos de inundación a través de un diagnóstico de la Avenida Normandie afectos a anegamientos por aguas lluvias.
- Proponer una alternativa de solución vial que controle inundaciones de la Avenida Normandie utilizando cubos de polipropileno y material prefabricado de hormigón.

Metodología

La metodología que se empleará para abordar el presente estudio contemplará el desarrollo de una serie de actividades para cumplir cada objetivo específico mencionado a fin de lograr establecer las bases para plantear el desarrollo de una alternativa de solución al drenaje vial establecido.

Para ello el método propuesto en este proyecto consiste en el desarrollo de las siguientes fases:

Fase Preliminar de Proyecto: Idea General, búsqueda bibliográfica, planteamiento del problema, objetivos generales y específicos.

Esta fase tuvo por objetivo indagar distintas áreas en donde se pudiesen aplicar los conocimientos adquiridos a fin de desarrollar un proyecto de titulación, siendo en este caso particular la de generar una propuesta de solución vial de evacuación de aguas lluvias mediante cubos de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón en el sector centro de la comuna de Quintero, para ello fue necesario identificar la problemática del sector como también plantear objetivos general y específicos a fin de lograr dar una respuesta adecuada al planteamiento propuesto al termino de este informe.

Fase Inicial de Proyecto: Estudio de la Hidrología, problemática y tipos de drenaje vial urbano sostenibles.

Esta fase buscará dar cumplimiento al primer objetivo específico “determinación de puntos críticos de inundación a través de un diagnóstico de la Avenida Normandie afectos a anegamientos por aguas lluvias” y a su vez desarrollar los siguientes capítulos propuestos:

- a) Capítulo I: Problemática general del drenaje en pavimentos urbanos (Marco Teórico: inundaciones, anegamientos, deterioro de los pavimentos entre otros; Estado del Arte: Sistemas de drenaje pluvial y uso de sistemas SUDS; Marco Normativo: Leyes vigentes en Chile y Metodología de Cálculos).

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente será necesario realizar un análisis con información histórica y actualizada de inundaciones en el sector a mejorar, como también definir los diferentes factores y características (naturales y artificiales) del diseño urbano en la vía afectada, para esto es necesario recopilar la siguiente información:

- Análisis y búsqueda documental de la información bibliográfica disponible en publicaciones y documentos de investigación (nacional e internacional), a fin de elaborar el Estado del Arte y Marco Teórico respecto a sistemas de drenaje urbano vial cuyos objetivos de estudios se basen en diseños con tecnologías alternativas, Sistemas de drenaje sostenibles (SUDS) y normativa nacional desarrollada. Esta búsqueda se realizará en diversos repositorios de Universidades que ya han desarrollado investigaciones tipo como también en buscadores oficiales como Scielo y Google Académico.
- Búsqueda de información histórica comunal tanto digital y física en dónde se pueda analizar las diversas soluciones empleadas para reducir los problemas viales ocasionados por aguas lluvias.
- Búsqueda de información sobre las medidas de mitigación estructurales existentes (marco normativo y metodologías de cálculo), en literatura pertinentes, solicitud formal en departamentos Municipales complementada con salidas a terreno y levantamiento fotográfico del estado del sistema de evacuación de aguas lluvias actual a fin de identificar los puntos susceptibles e identificar condiciones favorables y desfavorables del sector.

Fase plan de trabajo: Características del sector en estudio (Antecedentes, especificaciones técnicas y sistema de drenaje de aguas lluvias de la zona establecida).

Esta fase buscará dar cumplimiento al segundo objetivo específico “Describir la topografía, el estado de la vía y el sistema de drenaje actual del tramo Avenida Normandie y sus calles transversales” y a su vez desarrollar los siguientes capítulos propuesto:

- a) Capítulo II: Aspectos generales del sector (hidrología y sus variables influyentes en el dimensionamiento del drenaje).
- b) Capítulo III: Antecedentes de la afectación histórica de la avenida Normandie del centro de la ciudad de Quintero respecto de inundaciones por aguas lluvias.
- c) Capítulo IV: Levantamiento Topográfico de la Avenida Normandie y recopilación de antecedentes físicos de vías.

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente será necesario recopilar la siguiente información:

- Solicitud de información hidrológica y antecedentes de la zona de estudio en secretaría Comunal de Planificación (SECPLAN) de la Ilustre Municipalidad de Quintero a fin de analizar sistemas de drenaje vial existentes en el sector de estudio mediante planos o archivos de software AutoCAD. En este análisis hidrológico, debe contemplar el análisis de lluvia, la metodología para el cálculo y diseño de caudales (identificando colectores comunales, dirección de escurrimientos memorias de cálculo anteriores entre otros.)
- Solicitud a Dirección de Obras Municipales (DOM) respecto a información de perfiles transversales y longitudinales de calles en revisión, anchos de líneas oficiales, longitud de vías, tipo de pavimentación entre otros datos.
- A fin de analizar y diagnosticar la red de alcantarillado existente será necesario contar con Topografía de la península de Quintero para así poder definir si las redes existentes corresponden a alcantarillado pluvial, sanitario o combinado. Teniendo esta información se podrá realizar una estimación de caudal de cada zona afectada y definir la capacidad para recibir los aportes generados por los sistemas de alcantarillado.
- Encuesta a habitantes del sector que ayude a identificar información crítica a fin de reconocer el estado de la vía actual, determinar los puntos críticos afectados y periodo sin mejoramiento del problema.

Fase de Propuesta y Conclusiones: Desarrollo de propuesta de solución de aguas lluvias en Avenida Normandie mediante cubos de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón.

Esta fase buscará dar cumplimiento al tercer objetivo específico “Proponer una alternativa de solución vial que controle inundaciones de la Avenida Normandie utilizando cubos de polipropileno y material prefabricado de hormigón.” y a su vez desarrollar los siguientes capítulos propuestos:

- a) Capítulo V: Propuesta de solución de evacuación de aguas lluvias de avenida Normandie en base a cubos de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón.
- b) Capítulo VI: Análisis de costos de solución propuesta comparativa con sistemas tradicionales de sistemas de aguas lluvias.

Para llevar a cabo lo planteado anteriormente será necesario recopilar la siguiente información:

- Búsqueda de información respecto a implementación (sistema constructivo), precios netos, empresas distribuidoras, características de diseño de cubos de polipropileno en Chile, zonas que permiten implementación de sistemas SUDS.
- Análisis de alternativas viales vigentes para implementación de sistemas de drenajes SUDS
- Memoria de cálculo para evacuación de aguas lluvias del sector: Es necesario recopilar información de estaciones hidro climatológicas (estadísticas de precipitaciones (intensidad y frecuencia, humedad relativa, temperatura, coeficiente de escorrentía previo al desarrollo de cálculos, capacidad de infiltración del terreno en el tiempo, analizar la probabilidad de ocurrencia de tormentas máximas en 24 horas (P_{máx24horas}) , elaborar de la Curva de Intensidad-Duración-Frecuencia o mapa de intensidades para determinar el valor aproximado de la precipitación de la lluvia en el sitio de interés) (Santos Granados & Cubides, 2018).
- Establecer el caudal de aporte (carga) para cada sector crítico determinado, en donde se implementará la propuesta de cubos de polipropilenos (sistema SUDS).
- Análisis de impacto e inversión requerida (presentar posible presupuesto): Es importante establecer los puntos donde se van a producir las descargas del sistema de drenaje propuesto. Deben ser múltiples para repartir así el impacto, y deben estar controlados para conocer la contaminación difusa real. (ASCE/EPA, 2002)
- Análisis comparativo de las condiciones hidráulicas y presupuesto de las soluciones alternativas en comparación.

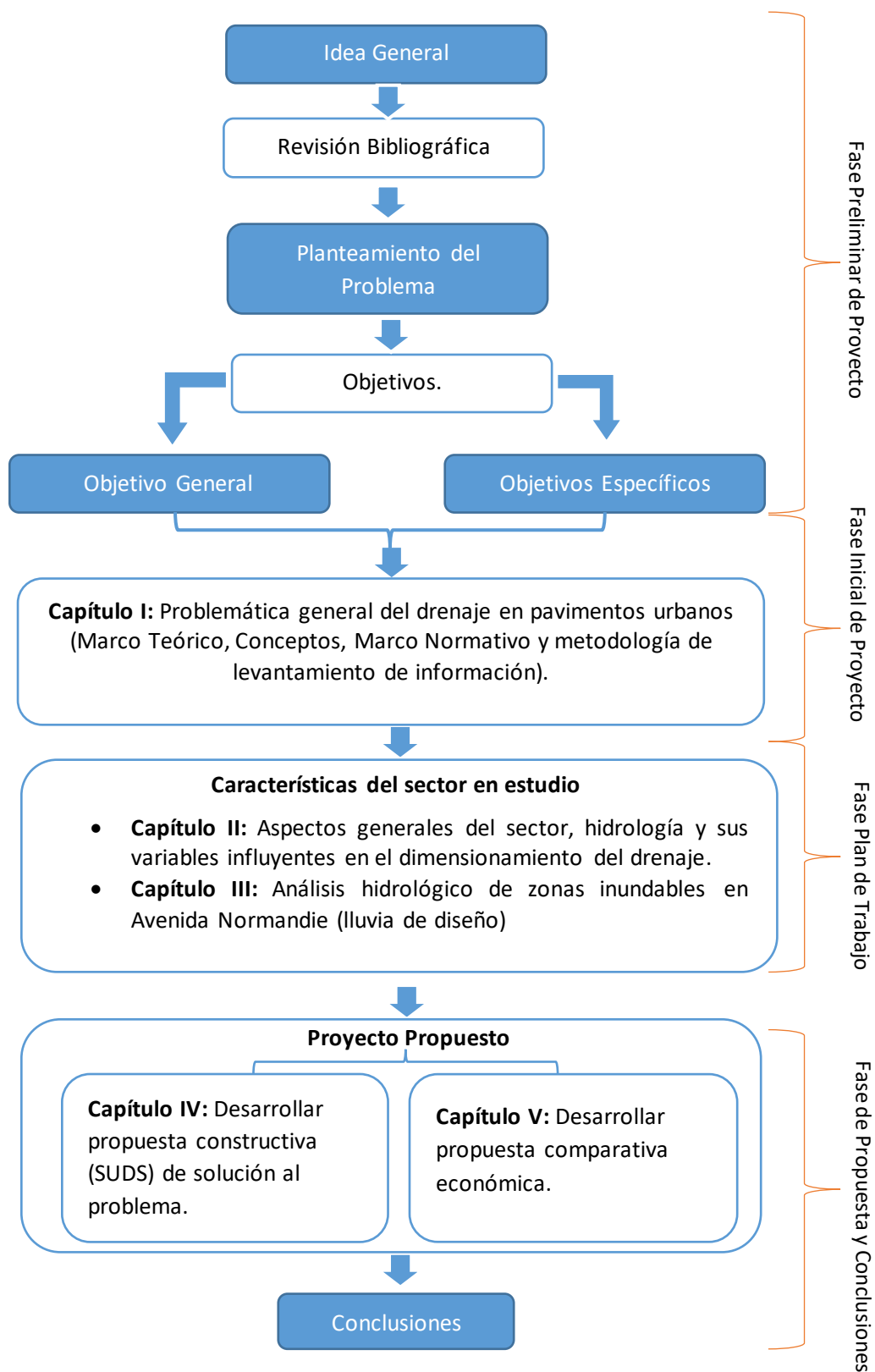


Diagrama de Metodología para el cumplimiento de objetivos 1 y 2

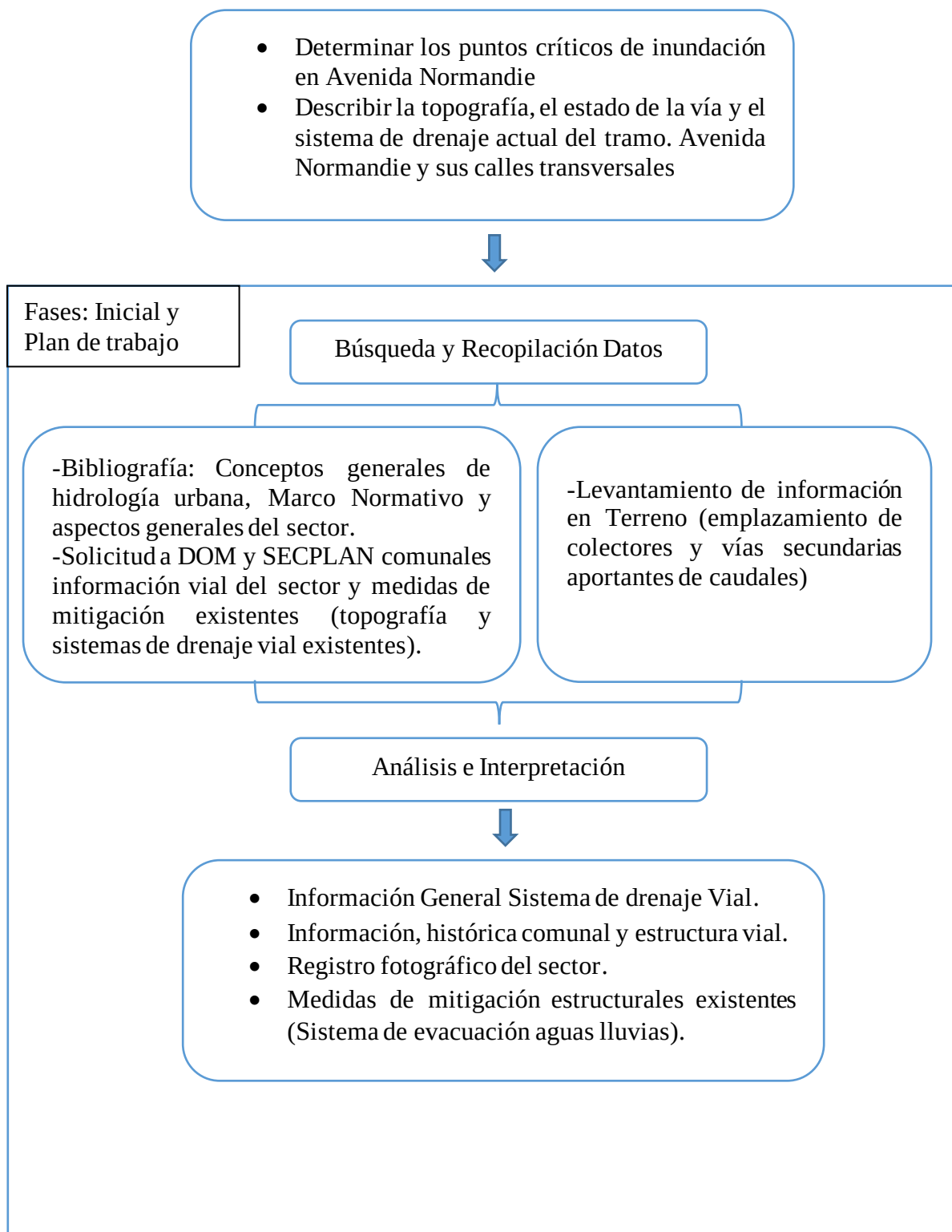
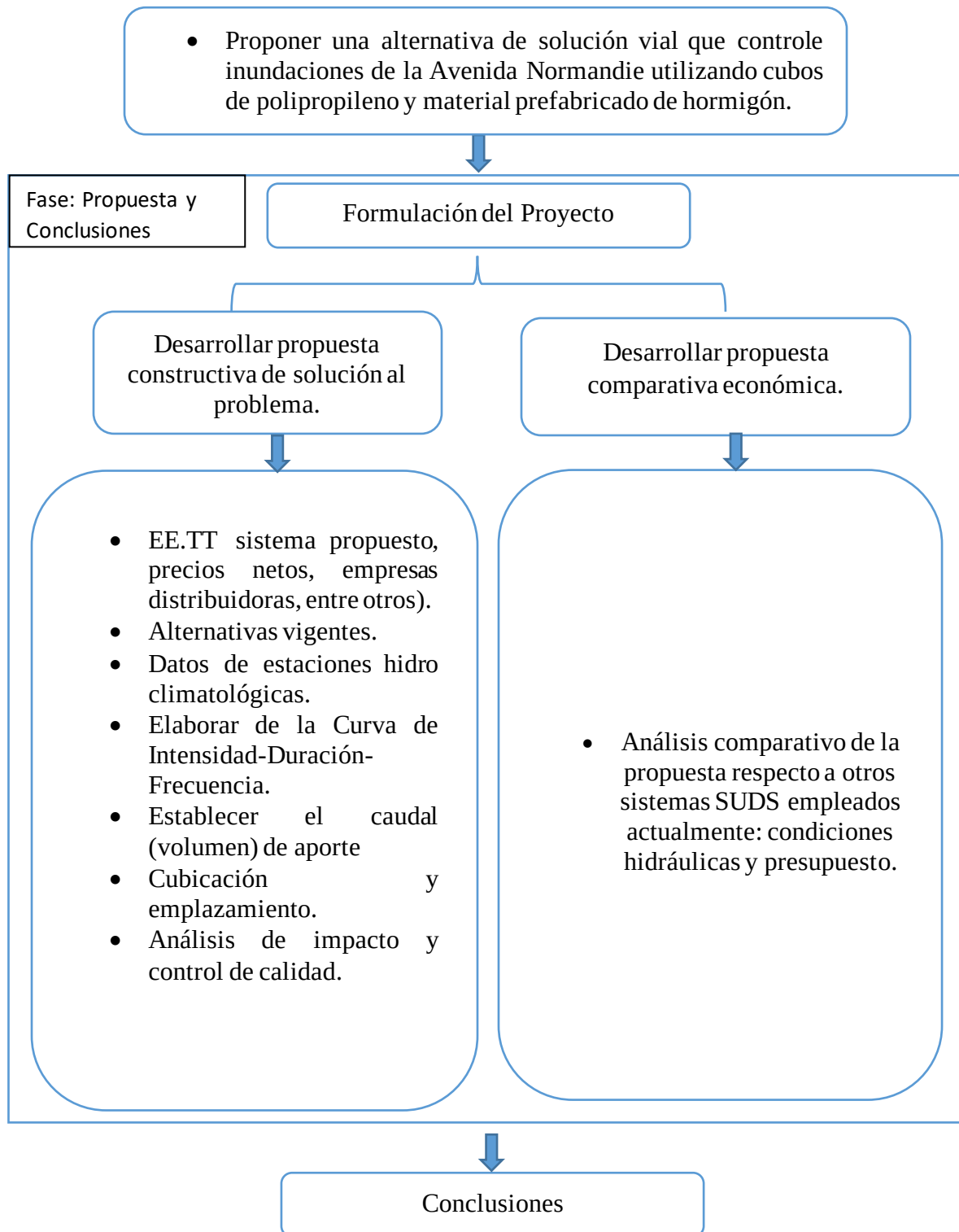


Diagrama de Metodología para el cumplimiento del objetivo 3



Capítulo I: Problemática general del drenaje en pavimentos urbanos

1. Marco Teórico

1.1 Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico es el proceso en virtud del cual las aguas transportan materiales y energía cuando pasan por diferentes estados, a saber, sólido, líquido y gaseoso. En el ciclo hidrológico ocurren tres fenómenos principales: el primero denominado evaporación se produce por la evaporación del agua sobre la superficie de los océanos, ríos, lagos y el suelo; un segundo conocido como precipitación mediante el cual la humedad atmosférica precipita o desciende a la Tierra, en cualquiera de sus formas: lluvia, nieve o granizo, la precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diferentes maneras, un gran porcentaje es retenida temporalmente en el suelo, luego otra porción de agua viaja sobre la superficie del suelo hasta desembocar en ríos y estos al mar, este tercer fenómeno se le conoce como escorrentía superficial y es en donde ocurren otros procesos denominados infiltración (el agua que cae sobre el suelo fluye a través de sus poros hacia capas interiores) y percolación (cuando el agua logra pasar las primeras capas de suelo y se interna hasta encontrar el cauce de agua subterránea) (Campos Gomez, 2000).

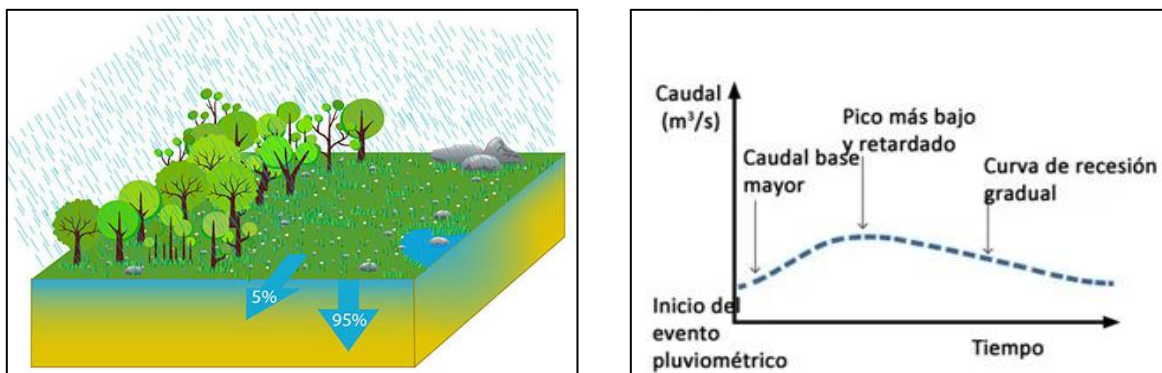


Figura 1.7- Ciclo hidrológico natural y esquema cantidad de escorrentía natural
Fuente: <http://www.hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>

1.2 Ciclo Hidrológico Urbano

El ciclo hidrológico urbano involucra una alteración del ciclo natural, produciendo diferentes impactos asociados a la impermeabilización de las superficies urbanas, en específico la construcción de pavimentos afecta las condiciones del terreno natural y el ciclo del agua modificando la capacidad de infiltración y retención es decir se crean nuevos cauces de escurrimiento y aparecen nuevos contaminantes depositados sobre superficies urbanas. (Manual de Elementos Urbanos Sustentables, Tomo II: Pavimentos y Circulaciones, Mobiliario Urbano, 2017), a su vez el uso masivo de estos pavimentos impermeables en áreas urbanas disminuye notoriamente la capacidad de recarga natural de agua en los terrenos, e incrementa de forma considerable el volumen y el caudal del escurrimiento superficial, aumentando el riesgo de provocar inundaciones en los sectores más bajos de las urbanizaciones (Castro, 2004).

Considerando lo anterior se puede mencionar que la acumulación de agua en la superficie de los pavimentos es el factor que posibilita el aumento de problemas en la seguridad vial. En presencia de lluvia, lo más común que suceda en las carreteras es la formación de una capa de agua de bajo espesor en la superficie del pavimento. Como consecuencia de esto los usuarios pierden la adherencia neumática – pavimento, además de verse afectados por una notoria disminución de visibilidad, lo que produce una gran cantidad de accidentes de tránsito ante estas condiciones (Ruiz, 2000) .

Hoy en día en la práctica en sectores urbanos para evitar problemas de drenaje vial se utiliza la construcción de pavimentos con drenajes sustentables (Guerra Chayña, 2020). Los criterios tradicionales para el diseño y construcción de superficies de rodamiento usualmente se refieren a la accesibilidad, la resistencia y a la eficiencia económica esto es, que los beneficios directos para el tránsito de vehículos sean mayores a los costos involucrados, sin tomar en cuenta externalidades producidas como los daños al medioambiente (Cárdenas, Albiter, & Jaimes, 2017). Se debe tener presente el tipo de escurrimiento que presentan las aguas, ya que estas pueden escurrir libremente por gravedad, o bien ser del tipo humedad capilar. En el primer caso es fácil interceptarlas, disponiendo de elementos de drenaje adecuados; en el segundo caso, en cambio, es recomendable que el material que constituye la base o sub base del pavimento, cumpla ciertas condiciones que impidan el movimiento capilar. De esta manera, se han definido dos criterios principales para el diseño de las obras de subdrenaje en pavimentos:

- Tiempo de drenaje de la base o sub base.
- Entrada y salida del flujo. Se desea conseguir que el drenaje de las aguas ocurra a una razón mayor o igual que el flujo de entrada, evitando de esta manera, la saturación del sistema.

En una zona natural sin urbanizar, el porcentaje de agua que se infiltra sin producir escorrentía es de un 95% y tan sólo un 5% produce escorrentía, en un entorno de baja urbanización, como pueden ser zonas rurales y residenciales fuera de los núcleos de las ciudades, el valor de infiltración disminuye hasta un 30%, con lo que se genera una escorrentía del 70%. Respecto a zonas urbanas de alta densidad se produce una reducción en la infiltración correspondiente a un 5% y el 95% restante a escorrentía superficial, esto debido a factores como: grandes cantidades de agua y la permeabilidad del pavimento convencional. En una zona urbana de gran densidad, prácticamente la cantidad de infiltración es despreciable, generando un 95% de escorrentía superficial que será necesario drenar y gestionar para lograr un entorno óptimo de habitabilidad. (García Haba, 2011).

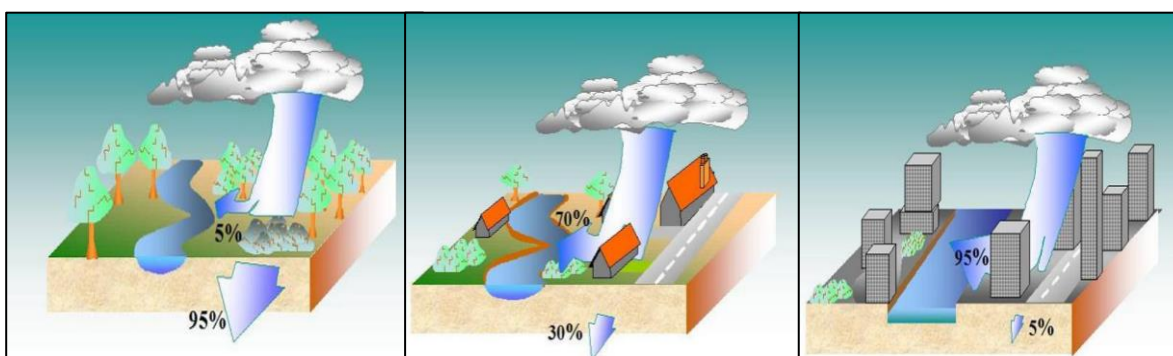


Figura 1.8- Reparto de escorrentía e infiltración en un entorno natural, rural y urbano
(Fuente: Coupe, S.)

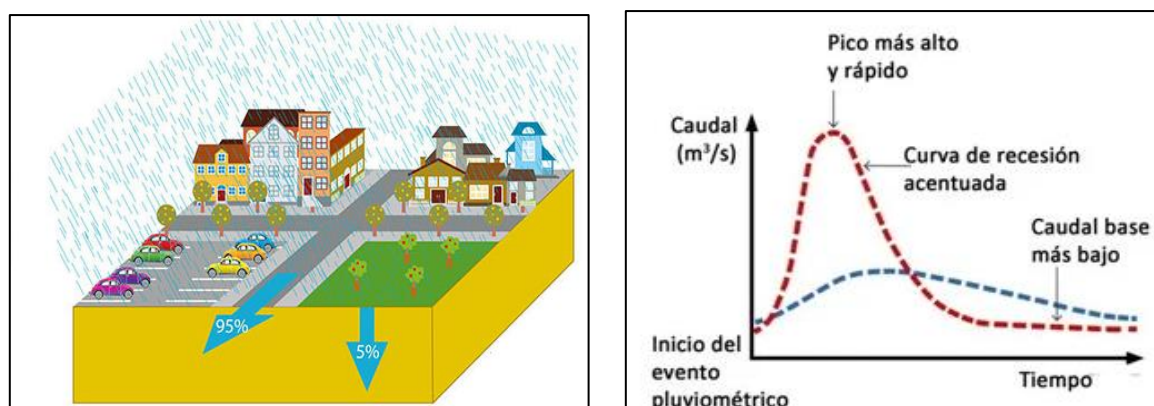


Figura 1.9- Ciclo hidrológico natural y esquema cantidad de escorrentía natural.
Fuente: <http://www.hidrologiasostenible.com/sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-suds/>

1.3 Zonas Urbanas

La urbanización es el crecimiento físico de las áreas urbanas, es decir, el movimiento de personas de zonas rurales a zonas urbanas que generalmente está influenciado por la modernización y la industrialización de la economía. Aproximadamente la mitad de la población del mundo vive actualmente en ciudades, y se espera que esta cantidad aumente al 61% para el 2030 (Rosatto, Botta, Becerra, Tardito, & Leveratto, 2016).

El suelo de las ciudades es poco permeable ya que a no hay una zona vegetal de intercepción directa que lo permita, es más la existencia de cubiertas impermeables y la poca permeabilidad del suelo ocasiona que el agua circule rápidamente por canaletas y pavimentos, concentrándose en un corto periodo de tiempo en los sistemas de alcantarillado. (Castro Fresno, Rodríguez Bayón, Rodríguez Hernández, & Ballester Muñoz, Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds), 2005).

La impermeabilización de los entornos urbanos provoca una disminución de la calidad de las aguas de lluvia, todo ello consecuencia del lavado que realizan dichas aguas en su camino hasta los puntos de vertido (aire, cubiertas, pavimentos arrastrando una gran cantidad de sólidos en suspensión, materia orgánica, metales pesados e hidrocarburos). Esta contaminación se conoce como contaminación difusa. A pesar de que en muchas ocasiones esta agua de lluvia se considera como agua limpia, con calidad suficiente como para ser vertida en los cauces naturales, la realidad es otra, los contaminantes presentes en dichas aguas hacen necesario su depuración, en mayor o menor medida. Por tanto, se genera la necesidad del paso del agua de lluvia por la depuradora antes de su vertido al medio receptor, sometiendo al sistema de depuración a un régimen no uniforme, como corresponde al de las precipitaciones, lo cual resulta muy desfavorable para el diseño y correcto funcionamiento de las depuradoras (Bayón Rodríguez, 2013).

El drenaje urbano actual presenta problemas que pueden ser clasificados en tres categorías según mencionan los autores Castro Fresno et al., 2005: cantidad, calidad y servicio.

- Los problemas de cantidad son los más perceptibles por todos, ya que su incidencia es visible y notable al momento en el que se producen, teniendo como claro ejemplo las inundaciones localizadas. Estas pueden producirse ya sea por un aumento de superficies permeables, cambios de topografía y cauces naturales los cuales disminuyen la capacidad de infiltración del suelo, aumentando los caudales máximos de descarga hacia los sistemas de drenajes naturales existentes, la guía de diseño (MINVU-DICTUC, 1996) asegura que si no se consideran las inundaciones provocadas por aguas que provienen desde el exterior del sector inundado se puede afirmar que la principal causa de las inundaciones en sectores urbanos en las ciudades de Chile es la destrucción de la red de drenaje natural sin que sea reemplazada por ningún sistema artificial (Salinas, 2021).
- Por su parte los problemas derivados de la calidad de las aguas no son detectables a simple vista, y su perjuicio se manifiesta a mediano o largo plazo por la pérdida de

calidad medioambiental sufrida en los entes receptores pudiendo alterar ecosistemas completos. Según menciona (Boller, 1997), estima que las escorrentías provenientes de calles y techos colaboran con un 50% al 80% del total de los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

- Por último, el servicio dado a la ciudadanía se ve alterado por los dos problemas anteriormente mencionados, y que se manifiestan como un perjuicio en la prestación de este; es decir, afección al tráfico, daños materiales, pérdida de comodidad, desnaturalización del entorno, falta de estética, etc.

1.4 Inundación y Anegamiento

Uno de los problemas, tal vez el más importante y visible, derivado de la impermeabilización de las zonas urbanas es la formación de inundaciones localizadas tras eventos fuertes de lluvia. Las inundaciones se pueden producir por motivos muy diversos, pero una de las causas frecuentes es el criterio tradicional empleado en el diseño; es decir, la tendencia de evacuar el agua de lluvia lo antes posible. Este criterio es, precisamente, el que provoca el colapso de los sistemas convencionales de gestión de las aguas de lluvia, debido a la gran acumulación de agua que se produce en los puntos bajos de la cadena, todo ello en un periodo muy corto de tiempo. Esto da lugar a las inundaciones de carácter local. (Bayón Rodríguez, 2013)

Conceptualmente, a nivel de planificación y el ordenamiento territorial son distintos y bien lo deja mencionado (Ferrando F. , 2006) en donde señala:

- Las inundaciones propiamente tales corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos, etc. resultando en un desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje. Respecto de la carga sedimentaria y su relación con los desbordes, esto tiene como explicación el hecho que las variaciones de pendiente en el eje longitudinal de los cauces provocan modificaciones en la velocidad con que escurre el agua, lo que motiva la sedimentación o abandono local de la carga de sedimentos provocando consecuentemente una reducción de la sección transversal y, por lo tanto, de la capacidad de estos cauces para contener y evacuar las aguas.

- Los anegamientos son diferentes ya que se definen como formas de acumulación de aguas de lluvia sobre el terreno, y oteando hacia la causalidad, por lo general en este caso también existe una situación de desbalance, la cual se da entre el volumen de la lluvia precipitada en un determinado lapso de tiempo y la capacidad de evacuación de un suelo dado, tanto horizontal como verticalmente. Si bien ello es cierto, existen complicaciones las cuales derivan de los cambios en la permeabilidad, en la saturación del suelo (es decir si se ve superada su capacidad de infiltración y evacuación subterránea de las aguas, se generará un excedente pluviométrico que deberá permanecer en superficie por el lapso de tiempo post – lluvia necesario para que la situación se normalice) y en la micro topografía de la superficie, ya sean por causas naturales o artificiales (en las ciudades las construcciones son obstáculos al escurrimiento de las aguas lluvias, las cuales terminan por acumularse en sectores ligeramente más bajos sin posibilidad de circular ni infiltrarse) sin embargo estos cambios en la permeabilidad del suelo pueden ser positivos o negativos. Entre las acciones positivas, es decir, que incrementan la permeabilidad está la aradura y la incorporación de materia orgánica. Los efectos negativos tienen como causa la intervención en términos de compactación y/o de cobertura con materiales impermeables, como son las construcciones, los concretos y los asfaltos, incluso la aplicación de petróleo o aceite quemado a los caminos de tierra o la adición de una cubierta de maicillo y su apisonamiento.

1.5 Escorrentía

La escorrentía superficial es el fenómeno más importante desde el punto de vista de ingeniería, y consiste en la ocurrencia y el transporte de agua en la superficie terrestre. La mayoría de los estudios hidrológicos están ligados al aprovechamiento del agua superficial y a la protección contra los fenómenos provocados por su movimiento. De la precipitación que alcanza el suelo, parte queda retenida ya sea en depresiones o como película en torno a partículas sólidas. Del excedente de agua retenida, parte se infiltra y parte escurre superficialmente. Se define como exceso de precipitación la precipitación total caída al suelo menos la retenida e infiltrada. Puede ocurrir que el agua infiltrada venga, posteriormente, a aflorar en la superficie como fuente de una nueva escorrentía superficial (Sotomayor Cuadrado & Yabrudy Mercado, 2020). La escorrentía superficial comprende el exceso de la precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno, los factores que influyen pueden ser de naturaleza climática (relacionados con la precipitación), de naturaleza fisiográfica (ligados a características físicas de la cuenca) y de naturaleza humana (relacionados con la intervención humana) (Monsalve Saenz, 1995).

La situación urbana presenta dos características, una de ella es el predominio de superficies impermeables debido a pavimentos y techos, y la otra es la presencia de la intervención del hombre en los sistemas de drenaje en la cuenca como ocurre con los sistemas de colectores,

canales y otras obras. Estas características hacen que la respuesta de una cuenca urbana ante la lluvia sea mucho más rápida que la de una cuenca en condiciones naturales de área equivalente. Además, el volumen de escurrimiento de una cuenca urbana es más grande porque hay una zona disponible menos permeable para la infiltración (Manual de Drenaje Urbano, 2013).

1.6 Caracterización Hidrológica

Las características principales que definen la tormenta de diseño son el periodo de retorno, la duración y la precipitación total. Otras características secundarias son la distribución temporal de precipitaciones para intervalos menores a la duración total y la distribución espacial en una zona de mayor tamaño. La descripción y criterios para cuantificar estos parámetros según se menciona en la “Guía de Diseño y Especificaciones de Elementos Urbanos de Infraestructura de aguas lluvias, 2015” (MINVU, 2005), son los siguientes:

- a) El período de retorno se selecciona de acuerdo al riesgo de falla que se está dispuesto asumir para el sistema o elemento a dimensionar. En proyectos de drenaje urbano de aguas lluvias se deben considerar dos tipos de tormentas: una de diseño, con la cual se dimensionan los elementos del sistema con períodos de retorno de 2 años, y otra de verificación, con la cual se comprueba que para situaciones extremas no ocurran problemas graves, aunque se aceptan fallas e inconvenientes, que corresponde a períodos de retorno de 100 años.
- b) La duración total está relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca aportante, de modo de seleccionar una duración que genere el máximo escurrimiento. Para el diseño de elementos de conducción la duración de la tormenta debe seleccionarse siempre mayor o igual al tiempo de concentración, recomendando una duración que no exceda al tiempo de concentración por más del doble. Para el dimensionamiento de obras de almacenamiento, como estanques o lagunas, debe considerarse duraciones largas, típicamente de 24 horas para elementos de la red secundaria.
- c) La precipitación total de la tormenta es una característica climática del lugar que se puede obtener de las relaciones de Intensidad, Duración, Frecuencia, IDF. Seleccionados el período de retorno y la duración, de estas relaciones se obtiene la precipitación total de la tormenta.
- d) La distribución temporal de la precipitación durante una tormenta es de especial interés. Se debe adoptar distribuciones temporales de precipitación realistas y que maximicen el escurrimiento que genera la cuenca. Para estos efectos se recomienda diseñar la red secundaria con tormentas que concentran su mayor intensidad al inicio.
- e) La distribución espacial de las precipitaciones para una misma tormenta es de interés cuando se analizan zonas extensas. Para el diseño de elementos de la red secundaria se consideran tormentas espacialmente uniformes en una urbanización.

1.7 Pavimentos

La remoción del agua libre puede ser acompañada por el drenaje del agua que se infiltra verticalmente a la subrasante a través del pavimento o lateralmente a través de capas drenantes, junto con un sistema de colectores. Generalmente, el proceso actual incluye una combinación de ambos (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2008), para entender lo mencionado anteriormente debemos tener claro los siguientes conceptos:

- a) **Pavimento:** Se puede describir como una estructura compuesta de varias capas, diseñada para resistir los esfuerzos y deformaciones que se generan por el continuo paso de vehículos y por las condiciones climáticas del lugar donde se encuentra construido, mencionan Papagiannakis y Masad en el año 2008. Los pavimentos representan una parte importante de los activos viales, estos deben ser capaces de soportar sollicitaciones de tránsito, ambientales y proveer una estructura durable que permita la circulación de los vehículos con comodidad y seguridad. En el diseño de pavimentos tradicionalmente se han usado tecnologías de diseño basadas en pavimentos rígidos y flexibles, masificados en todo el mundo a partir del ensayo AASHO realizado en 1956 en Estados Unidos. (Bahamondes, 2013).

El comportamiento en ambos casos es muy diferente, tal y como se puede apreciar ver a continuación:

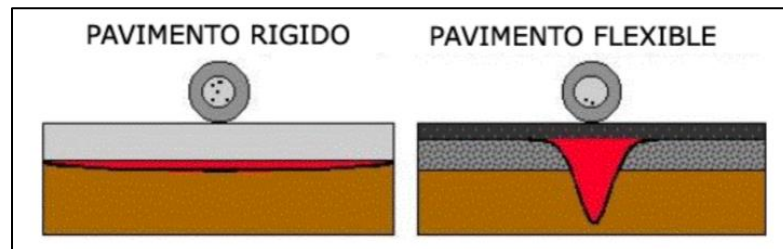


*Figura 1.10- Comportamiento de pavimentos
Fuente: MINVU;2008.*

- b) **Pavimento Rígido:** Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante. (Morales Olivares, 2005)

Para el diseño y construcción de pavimentos de hormigón, se deberá cumplir con las disposiciones de las Normas Técnicas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización que apliquen, en su versión más actualizada, u otras que se indiquen,

y en especial la NCh 170. (Códigos de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018).

Los materiales que se usen en la preparación del hormigón y en la construcción de los pavimentos, deberán cumplir con los requisitos de las normas que apliquen a cada material:

Material	Norma Vigente
- Cemento	NCh 148
- Áridos	NCh 163
- Agua	NCh 1498
- Aditivos y Adiciones	NCh 2182
- Membranas de Curado	Norma ASTM C-309, AASHTO M-148, y/o su especificación técnica similar.
- Materiales de sello de juntas	No existe Norma Chilena asociada por lo que se considerará como parámetros de selección el tiempo de deterioro del material en servicio, la calidad de adherencia con el hormigón y su preservación de la forma geométrica, con el objetivo de garantizar la continuidad de la función sellante, según indicaciones de aplicación y conservación del fabricante.
- Armaduras	A) <u>Barras de acero</u> : NCh 204 B) <u>Barras de acero con resaltes</u> : Según NCh 204 - Acero - Barras Laminadas en Caliente para Hormigón Armado y NCh 211 - Barras con Resaltes en Obras de Hormigón Armado. C) <u>Barras de refuerzo</u> : NCh 434

Tabla 1.1- Normas utilizadas para distintos tipos de materiales

Fuente: Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 2018

- c) **Pavimento Flexible:** La estructura de un pavimento flexible se compone de varias capas que pueden ser asfálticas, granulares o estabilizadas, el diseño de este tipo de estructura consiste en determinar las características y los espesores de cada capa, con el propósito de que la estructura resultante pueda soportar las cargas del tránsito, bajo las condiciones climáticas esperadas y suministrando unas buenas condiciones de servicio durante el periodo de diseño. (Sandoval & Orobio, 2013).

d) **Diferencias entre Pavimento Rígido y Flexible:**

Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
Máximo dos capas	Elaborado por varias capas
Losa de hormigón armado absorbe todo el esfuerzo (cargas)	Lleva carpeta asfáltica y cada capa absorbe cierta cantidad de carga.
Mayor costo inicial	Menor costo inicial
Menores deformaciones	Mayores deformaciones
Mayor vida útil	Menor vida útil
Menor fricción en la superficie de rodadura	Mayor fricción en la superficie de rodadura.
Menor Costo de mantenimiento	Mayor costo de mantenimiento
Color Gris Claro	Color gris oscuro
Capa de rodadura discontinua por juntas	Capa de rodadura presenta continuidad
Tiempo de ejecución menor	Tiempo de ejecución mayor
*Menor capacidad de drenaje	*Mayor capacidad de drenaje. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta proporcionan una drenabilidad mayor al permitir el desalojo del agua transversalmente sobre la macro textura superficial que presentan, reduciendo el hidro planeo y la proyección de agua. <u>En Europa se ha prohibido, como práctica común, el empleo de mezclas asfálticas drenantes en los túneles, debido a que permiten que los combustibles o líquidos inflamables vertidos se desplacen por su interior facilitando la propagación del fuego en caso de incendio</u>

2 Estado del Arte:

2.1 Marco Metodológico

A partir del siglo XIX en las ciudades se gestó un modelo de desarrollo abierto, lo que sumado a la revolución industrial iniciada en el siglo XVIII atrajo la población rural a las ciudades. Lo anterior se tradujo en un constante crecimiento de la población urbana, la cual superó a la población rural en el año 2008 y se estima que para el 2050 la población urbana sea el 66 % de la población mundial, situación que implica que nuestras ciudades tendrán que adaptar la forma de gestionar y usar recursos más limitados, en especial el agua (UNDESA, 2018).

El fenómeno de inundaciones urbanas, que está relacionado con la falta de capacidad de diseño de los sistemas de drenaje cuando se presenta una precipitación elevada, es un problema global que tiene por consiguiente consecuencias económicas y sociales (Alfaro Rosales, 2017). El crecimiento constante de las ciudades, las redes de saneamiento y drenaje urbano, que suelen estar diseñadas para evacuar rápidamente los caudales hacia las estaciones depuradoras, resultan muchas veces insuficientes para la evacuación de las aguas de lluvia, especialmente durante precipitaciones intensas, generándose vertidos no controlados, que además contaminan el medio receptor. Dichos vertidos suponen una presión significativa sobre los ecosistemas acuáticos, no sólo por el contenido en metales pesados derivados del lavado de la superficie urbana, sino también por la resuspensión de sedimentos de la red de colectores (Martínez, 2018).

La planificación de la ciudad marca la sostenibilidad del recurso hídrico generado el cual en la mayoría de ciudades se comportan de manera lineal cerrando el ciclo del agua vertiendo el caudal a ríos o mares, previo tratamiento con plantas depuradoras y cumpliendo las normativas vigentes. Estos ecosistemas urbanos tienen un ciclo hidrográfico complejo, por un lado, el ciclo natural de agua lluvia y por otro las circulaciones subterráneas de aguas para consumo y saneamiento, al respecto las aguas provenientes del flujo pluvial “no deberían ser evacuadas por las alcantarillas, pues dañan el funcionamiento de las depuradoras, saturan las redes de saneamiento y a la vez causan inundaciones catastróficas debido a la impermeabilización cada vez mayor del suelo urbano” (Rodríguez Arbelo, 2017).

Podemos considerar que el proceso de urbanización territorial implica el crecimiento de vías que permitan efectuar las diferentes actividades de una localidad. Este desarrollo vial requiere la construcción de pavimentos, los cuales puedan resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura (Montejo Fonseca, 2002). Sin embargo, estos pavimentos tradicionales ocasionan impermeabilizaciones importantes en el espacio urbano, lo cual aumenta los riesgos de inundación y de contaminaciones diferidas a largo plazo de los cuerpos acuáticos receptores (Gromaire-Mertz; Garnaud S; González A; Chebbo G, 1999). En Chile, al año 2020 la Red Vial Nacional (de tuición del Ministerio de Obras Públicas), registró 85.948 km de longitud de red vial a nivel nacional, dentro del cual 21.289 km son de red vial pavimentada representando un 25% del total de kilómetros de red vial nacional y 64.695 km de red vial

no pavimentada. (Observatorio Logístico_Red Vial Nacional Pavimentada y No Pavimentada, s.f.).

El mundo se ha adaptado a los nuevos tiempos generando cada vez más diseños urbanos que sean acordes a la forma original de los terrenos o espacios a poblar, teniendo énfasis en la sensibilidad que tendrá este para absorber las aguas lluvias presentes en el terreno, respetando así el ciclo natural del agua. Sin embargo, este ciclo se ve perturbado por el crecimiento de las ciudades ya establecidas que, viendo los problemas ocasionados, han ideado productos que permitan dar sustentabilidad frente a dichos problemas, éstos son los sistemas de drenaje sustentables tales como pavimentos permeables, zanjas de infiltración, o incluso cubos drenes entre otros.

2.2 Sistemas Urbanos Drenaje Sostenible

A fin de mitigar y reducir los efectos negativos sobre el ciclo hidrológico (inundaciones y transporte de sedimentos), se han creado métodos de drenaje alternativos a fin de poder gestionar las aguas de lluvia en zonas urbanas. La gran Mayoría de sistemas de gestión del agua vienen bajo el título de “sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS)” (Mullaney, Jefferies, & Mackinnon, 2011), basándose en dos principios: “Maximizar la capacidad de almacenamiento” y “Maximizar la capacidad de recarga” (Altarejos, 2007), permitiendo así el almacenamiento del agua de lluvia para su posterior reutilización, o incluso recargar las reservas de agua subterráneas mediante la infiltración en las zonas donde el terreno y la profundidad del nivel freático lo permita (Jimenes, 1999). Estas opciones pretenden complementar o bien sustituir los sistemas de drenaje convencionales aliviando las demandas excesivas que se presentan de manera puntual en el tiempo de las redes de alcantarillado pluvial y combinado (Torres, Ortega D, & Daza, 2011).

Los inicios de estos sistemas se originaron en Estados Unidos a partir de la década de los 70 producto del aumento de la concienciación ciudadana la cual conllevó a que naciera el concepto BMP, Best Management Practices (Mejores Prácticas de Gestión), desde este desarrollo varios gobiernos han adoptado nuevas leyes, normas y ordenanzas para fomentar su utilización según explica (Rodríguez Arbelo, 2017) dentro de los cuales podemos identificar los siguientes:

a) Europa:

En el norte y centro de Europa las aplicaciones más utilizadas son: los humedales artificiales, balsas de retención y zanjas de infiltración, resultando estas últimas las que mejor eficiencia tienen en cuanto recarga de acuíferos y descontaminación.

b) Reino Unido:

Los drenes filtrantes y los estanques de retención se incorporan de forma habitual a los planes de drenaje. Además, se preocupan por compatibilizar el Urbanismo y la Ordenación del Territorio con la necesidad de espacio para controlar la escorrentía en origen.

c) Francia

Debido a las inundaciones de los últimos años, tienen un problema añadido. Por ese motivo el uso de pavimentos permeables, balsas de retención son prácticas habituales incorporadas en muchos casos al marco normativo regional.

d) Alemania:

En algunos estados como Westfalia del norte, las nuevas edificaciones deben de contar con un propio sistema de tratamientos de agua de lluvia in-situ. En países más fríos como Dinamarca o Suecia también son usados para crear áreas de depósito de nieve.

e) España:

La primera aplicación seria de técnicas de drenaje sostenibles en España se lleva a cabo en el año 2003, cuando el Ayuntamiento de Madrid aplica tecnología y criterios de la empresa Atlantis en las obras de remodelación del Parque Gomeznarro. Se reemplazaron las carreteras convencionales y suelos impermeables con pavimentos permeables con el fin de controlar la escorrentía y reutilizar el agua para el riego de las zonas adyacentes. (Castro-Fresno, Andres-Valeri, Sañudo Fontaneda, & Rodriguez-Hernandez, 2013). Las medidas más usadas, aunque ineficientes por sí mismos, son los estanques de tormenta combinados con redes de alcantarillado convencionales.

Los SUDS son conocidos con numerosas denominaciones en los diferentes países donde son empleados, así se pueden encontrar las siglas (Perales & Domenech, 2008) :

- SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) en Inglaterra
- BMPs (Best Management Practices) en Estados Unidos
- MPC (Mejores Prácticas de Control)
- BPAs (Buenas Prácticas Ambientales)
- TEDUS (Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible)
- LID (Low Impact Development) en Estados Unidos.
- WSUD (Water Sensitive Urban Design) en Australia
- Diseño Urbano Sensible al Agua.

El avance en Chile hacia el drenaje sustentable ha sido gradual y ha constado de diversas etapas:

- Con la promulgación de leyes e instituciones ambientales.
- Creación de leyes e institucionalidad explícitas en drenaje urbano.
- Estandarización de las técnicas de diseño, construcción y mantenimiento de las obras.

Respecto a los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) y su utilización en Chile, estos fueron recogidos y publicados por primera vez por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) en 1996 a través de una guía de diseño titulada *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos*, está elaborándose respecto a las normas y recomendaciones para obras de pavimentación en el *“Código de Norma y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación” MINVU 1994, como también en el “Manual de Vialidad Urbana” MINVU 1984.*

Hoy en días ambos cuentan con actualizaciones recientes, siendo sus últimas publicaciones para el caso del *Código de Norma y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación el año 2018 y para el Manual de Vialidad Urbana el año 2009.*

En el año 2013 se publicó el *“Manual de drenaje urbano”* contando con tres volúmenes en los cuales actualizan y estandarizan las metodologías, criterios e información para diseñar y construir dispositivos SUDS.

Las actividades de construcción y conservación de pavimentos a menudo requieren de varios tipos de obras de subdrenaje. La remoción del agua incrementa la resistencia y rigidez de los pavimentos, extendiendo de esta manera su vida útil. Por lo tanto, es indispensable contar con un adecuado sistema de drenaje, el cual se puede diseñar y construir para un correcto desempeño a largo plazo, con conservaciones periódicas para verificar que funcione adecuadamente. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2008)

Dentro de las técnicas constructivas comunes utilizadas en Chile y según lo menciona el *“Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Pavimentación” del año 2008*, existen tres tipos de drenes más utilizados:

- I. Drenes de Piedra: Se utilizan para pequeños caudales de aguas subterráneas, de tipo permanente o temporal. Su efecto es producir una depresión de la capa freática o bien impedir que el agua penetre a la subrasante.
- II. Drenes de Tubos: Se emplean habitualmente para evacuar aguas subterráneas de pequeño y mediano caudal, tanto en terrenos impermeables como permeables.
- III. Drenes Laterales: La construcción de sistemas de drenaje lateral, hoy en día, es la clave para proveer un buen drenaje de las aguas en los pavimentos.

2.3 Marco Normativo

En el año 1982 en Chile se publicó la primera edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación en donde el objeto principal era el de poder disponer de un texto convenientemente ordenado que unificara la normativa técnica para el diseño, construcción y conservación de los pavimentos urbanos, sirviendo al mismo tiempo como un medio de consulta de carácter general dentro del campo de su aplicación. (MINVU, 2008), no obstante recién se presentan evidencias de este nuevo enfoque “SUDS” a partir del año 1996. Hasta la fecha se han desarrollado diversos proyectos de construcción e investigación en el área de drenaje urbano sustentable. (Propuesta de pavimento de hormigón drenante con fibra de basalto para el centro urbano de Quilpué, 2021)

Durante el año 1997 se aprobó la Ley N.º 19.525 que establece que “El Estado velará porque en las ciudades y en los centros poblados existan sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias que permitan su fácil escurrimiento y disposición e impidan el daño que ellas puedan causar a las personas, viviendas y, en general, a la infraestructura urbana”. Esta Ley definió también que será el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), el encargado de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias; por su parte, la red secundaria estará a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), directamente en lo relativo a su planificación y estudio e indirectamente a través de los Servicios de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) para la proyección, construcción, reparación y mantención de la misma. (Ministerio de Desarrollo Social, División de Evaluación Social de Inversiones, 2017).

Sobre la base de lo dispuesto en la Ley 19.525 es que diversas instituciones del sector público participan directa o indirectamente en la generación o mantenimiento de los servicios de evacuación y drenajes de aguas lluvias, dentro de las cuales, y según se menciona en el informe “*Metodología Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias del Ministerio de Desarrollo Social el año 2017*”, se encuentran:

A. Relación Directa

I. Ministerio de Obras Públicas, en donde colaboran las siguientes entidades:

- a) Dirección de Obras Hidráulicas (DOH): encargado de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria (Planes Maestros como aquella constituida por los cauces naturales “ríos, esteros y quebradas” que atraviesan la ciudad, los canales existentes y proyectados, los colectores separados superiores a cierto diámetro y todos los colectores unitarios del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias).
- b) Dirección General de Aguas (DGA): El Código de Aguas le entrega, en gran medida, las atribuciones de normar, controlar y fiscalizar los derechos de propiedad, la construcción de obras de regadío, drenaje y el control de cauces y riberas.
- c) Dirección General de Obras Públicas (DGOP): De acuerdo a la Ley Orgánica del MOP, tiene atribuciones en materia de obras fluviales, encargándose del estudio, proyección, construcción y conservación de las obras de defensa de terrenos y poblaciones, contra crecidas de corrientes de agua, protección de las riberas y cauce de los ríos y esteros, y de la súper vigilancia, reglamentación y determinación de zonas prohibidas para la extracción de materiales áridos cuyo permiso corresponde a las municipalidades, previo informe favorable de la DGOP.

II. Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU): La Ley 19.525 dispuso que el MINVU se encargará de la planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la **red secundaria del sistema de evacuación y drenaje de aguas lluvias, actuando a través de** los SERVIU en las labores de construcción y mantención.

Adicionalmente, el artículo 2.1.5 del DS N° 47, 1992 que fija el texto de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, dispone que en los Planes Reguladores Intercomunales y Comunes se establecerán, cuando proceda y previo estudio de riesgos elaborado por profesionales especialistas, zonas no edificables o de edificación restringida (zonas inundables o próximas a pendientes peligrosas).

B. Relación Indirecta

- I. **Ministerio del Interior:** El Gobierno Regional administra los recursos del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) asignados por el Ministerio del Interior, los que se pueden destinar a proyectos de aguas lluvias, entre otras iniciativas.
- II. **Ministerio de Desarrollo Social:** Como administrador del Sistema Nacional de Inversiones, tiene las funciones relativas a la evaluación y aprobación técnico-económica de los proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias que solicitan recursos para su ejecución.
- III. **Ministerio de Salud:** De acuerdo con el Código Sanitario, los Servicios de Salud tienen atribuciones para fiscalizar la descarga de aguas servidas o de residuos que puedan contaminar las aguas que se utilicen o puedan ser reutilizadas para el riego, uso o consumo humano, pudiendo ordenar su inmediata suspensión exigiendo su tratamiento previo.
- IV. **Ministerio del Medio Ambiente:** De acuerdo con la ley 20.417, que reformó la ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, tiene a su cargo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental, protección de recursos naturales y control de la contaminación. Con respecto a los proyectos de aguas lluvias, están obligados a ingresar a la evaluación de impacto ambiental aquellos que se les considere en el Título II “De los Instrumentos de Gestión Ambiental” párrafo 2, literal “o” del artículo 10 de la ley 19.300, así como el literal o.2 del artículo 3 del Reglamento de la Ley.
- V. **Municipalidades:** Según la Ley N° 19.130, Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, las funciones de los municipios tienen relación con la protección del medio ambiente, principalmente en la fiscalización del cumplimiento de las normas legales y vigentes sobre la urbanización y las aprobaciones de las subdivisiones de predios rústicos ubicados bajo su jurisdicción. Algunas de sus funciones son: - Administración de los bienes nacionales de uso público, categoría que tienen los cauces naturales; - Otorgamiento de los permisos para la extracción de áridos bajo supervisión técnica de la DOH; - Funciones de limpieza en sumideros y cámaras en épocas de lluvia, a través de cuadrillas de aseo.

2.4 Metodología de cálculo

2.4.1. Distribución de probabilidades pluviométricas: Gumbel Max y Weibull

Para realizar un análisis probabilístico del sector en estudio se debe recopilar datos de las lluvias diarias extremas a partir de las series de máximos anuales de precipitación en 24 horas registradas en la estación pluviométrica correspondiente. Si bien existen diversas fórmulas para cuantificar el riesgo asociado a valores extremos de precipitación, los ajustes más ampliamente utilizados corresponden a las funciones de distribución estadística de Gumbel y Weibull. (Ávila Parra & Vide, 2013):

La distribución Gumbel Max, como se menciona en el artículo “*Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental, 2013*” es una distribución de asimetría constante e igual a 1,139547, con función de distribución de probabilidad:

$$P = (X \leq x) = e^{-e^{-\frac{(x-\beta)}{\alpha}}} \quad (1)$$

Está definida para $-\infty < x < \infty$, donde la constante a es un parámetro de escala y b es la moda de la distribución. La estimación de los parámetros por el método de los momentos resulta de las siguientes expresiones:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \sigma \quad , \quad \beta = \bar{x} - 0.5772 * \alpha \quad (2)$$

En donde α y β corresponden a parámetros estadísticos; σ y $\bar{x}$ son respectivamente la desviación y la media de los datos medidos, mientras que el valor 0.5772 equivale a la constante de Euler-Mascheroni (Gumbel, 2004).

En cuanto a la función de distribución Weibull, y la más elegida para la estimación de probabilidades en los casos estudiados, se caracteriza por ser insesgada, es decir, que el sesgo tiende a cero, lo cual le proporciona una propiedad deseable como estimador (Ávila Parra & Vide, 2013). Su función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = 1 - e * \left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha} \right] \quad (3)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Promedio de la población

α = Parámetro continuo mayor a 0 se puede calcular como $\frac{1.2825}{\sigma}$

β = Parámetro de escala continua mayor a 0 se puede calcular como $\bar{x} - 0.45 * \sigma$

σ = Desviación estándar de la muestra o población.

2.4.2. Curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias

El diseño hidráulico de las obras de drenaje urbano, requiere el uso de las llamadas curvas intensidad-duración-frecuencia de lluvias (IDF). Estas relaciones presentan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia y son útiles para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas esencialmente impermeables, en función de la lluvia caída. Estas curvas tienen usualmente una forma de tipo exponencial, donde la intensidad, para una misma frecuencia, disminuye a medida que aumenta la duración de la precipitación. (MINVU-DICTUC, 1996). Es corriente incorporar en el mismo gráfico las curvas asociadas a diferentes frecuencias, en forma paramétrica, para obtener la familia de curvas de un lugar en un mismo gráfico.

2.4.3. Curvas IDF, de 1 a 24 horas

E. Varas y Sánchez (1984) estudiaron 1300 tormentas en el centro y sur del país, definiendo familias de curvas IDF adimensionales, cuyos valores permiten, en base a un valor de lluvia diario conocido, estimar las lluvias o intensidades de lluvia asociados a otras duraciones y a otras probabilidades de ocurrencia. Los coeficientes de duración propuestos para la zona de Valparaíso (para un período de retorno de 10 años) se encuentran en la publicación *"Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño, 1996"*.

Ciudad	Duración (horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Arica	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Iquique	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Antofagasta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Calama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
San Pedro de Atacama	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.0
Copiapó	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Vallenar	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
La Serena	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Ovalle	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Illapel	0.15	0.26	0.44	0.59	0.66	0.78	0.82	0.86	0.91	1.0
Valparaíso	0.14	0.23	0.33	0.46	0.55	0.64	0.70	0.78	0.90	1.0
Los Andes	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1.0
San Antonio	0.14	0.23	0.33	0.42	0.55	0.64	0.70	0.78	0.90	1.0
Santiago	0.16	0.26	0.42	0.55	0.64	0.71	0.77	0.84	0.94	1.0
Rancagua	0.12	0.21	0.34	0.42	0.51	0.58	0.65	0.73	0.83	1.0
Talca	0.12	0.19	0.29	0.40	0.52	0.59	0.68	0.72	0.82	1.0

Tabla 2.1- Tabla Coeficientes de duración para varias ciudades para lluvias de igual Periodo de Retorno.

Fuente: (Varas y Sánchez, 1984).

Los coeficientes de Frecuencia son bastantes independientes de la duración, por lo que en el Manual de Técnicas Alternativas se propone emplear un solo CF, cualquiera sea la duración de las lluvias estudiadas. Este coeficiente se definió como la razón entre la lluvia asociada a un cierto periodo de retorno y la lluvia de igual duración para un periodo de retorno de 10 años. Estos se entregan en la siguiente imagen:

Ciudad (1)	Periodo de Retorno (Años)						
	2	5	10	20	50	100	200
Arica	0.55	0.82	1.00	1.17	1.14	1.56	1.81
Iquique	0.53	0.83	1.00	1.14	1.31	1.42	1.53
Antofagasta	0.53	0.83	1.00	1.18	1.42	1.60	1.78
Calama	0.58	0.85	1.00	1.12	1.22	1.36	1.50
San Pedro de Atacama	0.36	0.73	1.00	1.26	1.61	1.88	2.15
Copiapó	0.27	0.69	1.00	1.30	1.71	2.01	2.31
Vallenar	0.38	0.75	1.00	1.24	1.55	1.78	2.01
La Serena	0.49	0.80	1.00	1.19	1.44	1.62	1.80
Ovalle	0.42	0.75	1.00	1.28	1.69	2.03	2.37
Illapel	0.53	0.80	1.00	1.20	1.47	1.69	1.91
Valparaíso	0.58	0.83	1.00	1.17	1.39	1.56	1.73
Los Andes	0.56	0.82	1.00	1.18	1.43	1.61	1.79
San Antonio	0.58	0.83	1.00	1.17	1.39	1.56	1.73
Santiago	0.55	0.82	1.00	1.18	1.43	1.63	1.83
Rancagua(Rengo)	0.64	0.86	1.00	1.13	1.31	1.43	1.55
Talca(San Luis)	0.62	0.85	1.00	1.14	1.33	1.48	1.63

Tabla 2.2- Tabla de coeficientes de frecuencia para lluvias de igual duración.

Fuente: (Varas y Sánchez, 1984).

La información anterior puede emplearse para estimar las curvas IDF en un lugar, en base a la lluvia máxima diaria, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PtT = C * PD10 * Cdt * CFT \quad (4)$$

Donde:

PtT = Lluvia con período de retorno T y duración t (horas)

PD10 = Lluvia máxima diaria (8AM a 8 PM) de 10 años de período de retorno (mm)

Cdt = Coeficiente de duración para t hora (entre 1 y 24 horas)

T = Periodo de retorno en años

t = Duración en el tiempo t (hora)

CFT = Coeficiente de duración para T años de periodo de retorno

C = Coeficiente que transforma las precipitaciones máximas diarias a máximas en 24 horas = 1.13

Esta expresión es válida para lluvias de 1 a 24 horas de duración en la zona estudiada, y entrega estimaciones de lluvia razonables para los diseños hidráulicos en la zona central de Chile.

2.4.4. Curvas IDF, de 5 a 120 minutos

En el caso de la precipitación para una duración entre 5 y 120 minutos, se puede optar por una mayor precisión entregada por la siguiente ecuación:

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52) * (0.54 t^{0.25} - 0.50) * P_{60}^{10} \quad (5)$$

Donde:

P_t^T = Lluvia con período de retorno T y duración t (min)

T = Período de retorno en años

t = Duración de la lluvia (min)

P_{60}^{10} = Precipitación de 1 hora y 10 años de período de retorno, en mm.

Duración (minutos)	Coef. de Duración
5	0,31
10	0,46
15	0,56
20	0,64
30	0,76
40	0,86
50	0,94
60	1,00

Tabla 2.3- Coeficiente de duración para lluvias de menos de 1 hora
Fuente: (Varas y Sánchez, 1984).

2.4.5. Intensidad de precipitación

Para el cálculo del caudal máximo se requiere evaluar la intensidad de precipitación asociada al tiempo de concentración que se esté analizando la cual estará expresada en horas de duración (t).

De acuerdo a lo anterior, las intensidades requeridas se calcularán con la relación:

$$i(t) = \frac{p(t)}{t} \quad (6)$$

$$p(t) = Cd(t) * P_{24} \quad (7)$$

donde:

$i(t)$ = Intensidad de precipitación en el tiempo t .

$p(t)$ = Precipitación en el tiempo t (mm)

P_{24} = Precipitación máxima en 24 horas

$C_d(t)$ = Coeficiente de duración asociado al tiempo t .

2.4.6. Caudales de diseño

Con el fin de determinar los caudales afluentes a los puntos de control definidos anteriormente, se utilizó la relación Precipitación-Escorrentía denominada fórmula Racional, considerada adecuada para este estudio dado el pequeño tamaño del área aportante. La expresión correspondiente está dada por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6} \quad (8)$$

donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

i = Intensidad de precipitación [mm/hr]

A = Área de la cuenca en [Km²]

Q = Caudal de diseño (m³/s)

2.4.7. Volumen afluente acumulado

Se recomienda determinar el volumen a infiltrar acumulado para una lluvia de período de retorno de T años como el generado por las intensidades medias, de acuerdo a la curva IDF correspondiente. Es decir, el volumen acumulado de agua lluvia, V_{afl} , en metros cúbicos, para un tiempo t , en horas, se calcula como:

$$V_{afl}(t) = 1.25 * 0.001 C I_t A t = 0.00125 C A P_t^T \quad (9)$$

donde:

C = Coeficiente de escurrimiento superficial.

A = Área total aportante (m²).

I_t = Intensidad de la lluvia de periodo de retorno y duración t en mm por hora.

T = Periodo de retorno.

t = Duración en mm por hora.

P_t^T = Precipitación acumulada en el tiempo t para la lluvia de periodo de retorno de T años.

V_{afl} = Curva de recarga.

Se recomienda multiplicar por un factor de seguridad de 1.25 el volumen acumulado para considerar la porción de lluvia que cae antes y después de la porción más intensa de la tormenta, no incluida en las curvas IDF.

2.4.8. Coeficientes de Escorrentía

La guía de diseño MINVU - SERVIU (2005), señala que el coeficiente de escorrentía indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento. El resto de la precipitación queda detenida en las depresiones o moja el suelo, o se infiltra, o se evapora. Para zonas de nuevas urbanizaciones, debe estimarse un coeficiente ponderado según las superficies de cada tipo de ocupación del suelo, estimando las áreas de cada uno de los tipos siguientes, con los coeficientes de escurrimiento que se indican a continuación:

Tipo de superficie	Coeficiente		
	Mínimo	Medio	Máximo
Calles			
Asfalto no poroso	0,70	0,82	0,95
Hormigón	0,80	0,87	0,95
Adoquín de cemento sobre arena	0,50	0,60	0,70
Maicillo, ladrillo	0,30	0,40	0,50
Techos			
Zinc, latón, metálicos en general	0,85	0,90	0,95
Tejas, pizarras, cemento asbesto	0,70	0,80	0,90
Patios			
Baldosas, hormigón	0,80	0,87	0,95
Tierra, sin cobertura	0,50	0,60	0,70
Parques, plazas y jardines			
Prados, suelo arenoso	0,05	0,12	0,20
Prados, suelo arcilloso	0,15	0,25	0,35

Tabla 2.4- Coeficiente de Escorrentía.

Fuente: Adaptado de Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos. MINVU – DICTUC, 1996

2.4.9. Volumen Infiltrado

La cantidad de volumen a infiltrado se puede obtener de la siguiente expresión y cuyo resultado se verá expresado en metros cúbicos:

$$V_{inf}(t) = 0.001 * C_s * f * A_{perc} * t \quad (10)$$

donde:

C_s = Factor de seguridad (mm/hr).

f = Capacidad de infiltración del suelo en condiciones de saturación (mm/hr).

t = Tiempo de percolación (hr)

A_{perc} = Área total de percolación de la zanja (m^2).

Para la obtención del factor de seguridad, este se seleccionará según corresponda del diagrama siguiente:

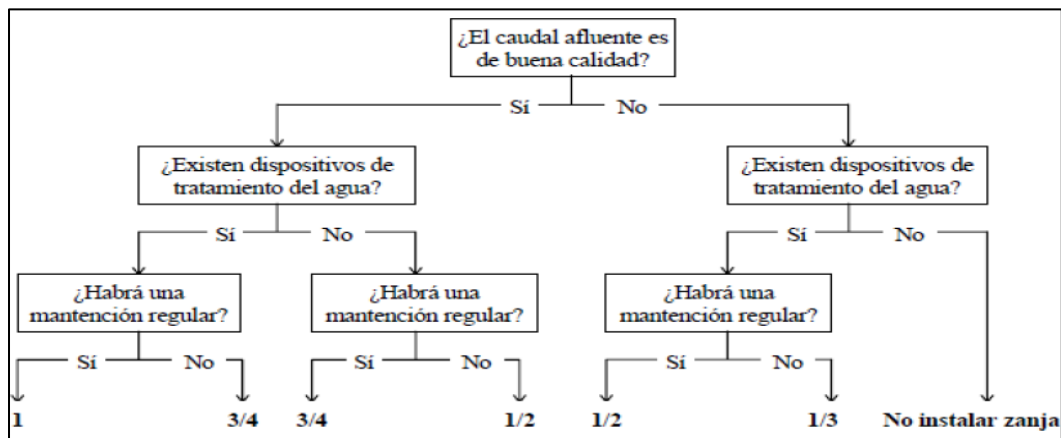


Figura 2.1- Esquema para la obtención de C_s .

Fuente: Azzout et al., 1994.

En el caso que exista un elemento decantador y las aguas se consideran limpias, la infiltración se produciría también por el fondo de la zanja, considerando que el fondo de la zanja se encuentre sobre 1.2(m) del nivel máximo de la napa freática. El área de percolación se calcula como:

$$A_{perc} = 2 * h * (L - b) + 0.5 * L * b \quad (11)$$

Siendo h, L y b la altura, longitud y ancho de la zanja respectivamente expresados en metros.

2.4.10. Volumen de Almacenamiento

El volumen de almacenamiento (V_{alm}) que necesita la zanja, lo podemos obtener como la diferencia entre el volumen acumulado de afluente (V_{afl}) y el volumen acumulado infiltrado (V_{inf}), ambos en función del tiempo.

El volumen total de la zanja se obtiene de la siguiente expresión:

$$V_{zanja} = L * b * h \quad (12)$$

El volumen de almacenamiento debe ser al menos igual a la máxima diferencia entre el volumen de la escorrentía del sector con el volumen infiltrado.

Al considerar rellenos pétreos, tipo bolones o cubos de polipropilenos se debe incluir en la ecuación (12) la variable de porosidad del elemento “p” generando una relación entre volumen de almacenamiento y volumen de la zanja expresado a continuación:

$$V_{alm} = p * V_{zanja} = p * L * b * h \quad (13)$$

Siendo “p” (porosidad) para bolón 0.3 y para un cubo de polipropileno 0.9.

2.5 Chile y el uso de cubos de polipropileno como sistema SUDS

Solucionar y canalizar las aguas lluvias hoy en día es de gran importancia y prioritario para nuevos proyectos de urbanización o remodelación urbana vial, dado que quizás las diseñadas tiempo atrás, hoy en día no satisfacen las prioridades mínimas establecidas para construir generando así la necesidad de buscar alternativas flexibles que se adapten a nuevas situaciones presentadas en terreno.

El estudio del sistema original de drenaje, el modelo natural anterior a cualquier desarrollo urbano del emplazamiento, es el mejor comienzo para abordar el problema. Deben conocerse las cuencas y subcuencas existentes dentro de la superficie de actuación: áreas de aportación, zonas de posible aplicación para los distintos métodos como vaguadas, cauces de estiaje y las variaciones topográficas asociadas al planeamiento previsto para la zona. (MINVU-DICTUC, 1996)

Las soluciones no mecánicas para drenaje de aguas lluvias tienen dos funciones principales: almacenar agua y filtrarla a terreno natural o lugares determinados, en este ámbito

encontramos distintos tipos de soluciones recomendadas y controladas según la Normativa Chilena Ley 19525 y establecidos el Manual de drenaje urbano (Ministerio de Obras Públicas [MOP], 2013):

- a) Zanjas de pasto
- b) Franjas de pasto
- c) Pavimentos Permeables
- d) Zanjas de infiltración
- e) Pozos de Infiltración
- f) Lagunas
- g) Estanques

El método más común para el drenaje de aguas lluvia hoy en día se genera empleando zanjas de infiltración las cuales son obras longitudinales, con una profundidad recomendada del orden de 1 a 3 m, recibiendo e interceptando el flujo superficial de una tormenta (en toda la longitud instalada) y evacuándolo mediante infiltración al subsuelo.

Se recomienda que el terreno a utilizar para dicha obra cuente con las siguientes características (Gómez, 2021):

- a) Pendiente del terreno mayor que un 20%.
- b) Nivel máximo de la napa subterránea o un estrato impermeable a menos de 1.2 metros bajo el fondo de la zanja.
- c) Suelos superficiales o inferiores con tasas de infiltración equivalentes a suelos tipo C o D según la clasificación SCS, o con tasas de infiltración menores que 7 mm/hora.
- d) Suelos con más de un 30% de contenido de arcilla.
- e) El tamaño del área aportante mayor que 5 hectáreas.

En resumen, estas obras están diseñadas para retener el agua de la tormenta reduciendo el escurrimiento superficial mediante los denominados “bolones” en donde se infiltra el volumen de agua con un sistema de rocas utilizando gran cantidad de espacio para su construcción. No obstante, los cubos dren, son productos que se están incorporando paulatinamente en el mercado reduciendo costos y tiempos en la ejecución, por lo cual las constructoras prefieren estos materiales para sus proyectos.

2.6 Cubo Dren de Polipropileno

2.6.1. Características

Cubo drenante de polipropileno o cubo dren, es un sistema modular conformado por placas de polímero unidas a presión y diseñado con una resistencia capaz de reemplazar a los antiguos bolones en los sistemas de infiltración de aguas pluviales. Según su forma y distribución varía la resistencia y su porosidad, que está entre 93% y 98%, esta permite infiltrar el agua con mayor efectividad y reducir los volúmenes de las zanjas de infiltración, a su vez su ligero peso permite un transporte e instalación en obra mucho más rápida, limpia y económica. Para su instalación es necesario utilizar:

- a) **Geotextil**: según lo establecido en el Manual de Carreteras Volumen 5, tabla 5.204.202.C, el cual debe ser del tipo no tejido fabricado del modo punzonado o agujado, este se estabiliza para resistir degradación por la exposición a la luz ultravioleta, es resistente a las sustancias químicas, al moho, a los insectos que comúnmente se encuentran en el suelo y no es biodegradable. El polipropileno es estable dentro de un margen de pH 2 a 13, lo que lo convierte en el polímero más estable para geotextiles disponibles en el mercado. Se debe utilizar Geotextil de un peso de 200 gr/mt².
- b) **Áridos**: Cumplen un rol fundamental en la instalación del cubo dren, ya que ayuda a aumentar el volumen de almacenamiento de agua, y retener junto con el Geotextil los sedimentos y finos provenientes de las aguas lluvias y paredes de infiltración respectivamente (filtro natural), lo que trae como consecuencia un aumento de la vida útil del Geotextil, y, por consiguiente, la vida útil del dren. Para la capa de nivelación se debe ocupar arena gruesa o grava según planos del proyecto. El perímetro y la parte superior del cubo dren, deberá ser rellenado con arena fina o gruesa según planos, en todos los casos el árido debe estar libre de escombros y vegetales.

Las ventajas y beneficios que posee el producto son las siguientes:

- a) Reemplaza al sistema tradicional de bolones.
- b) Disminuye considerablemente el tamaño de la zanja de infiltración.
- c) Conduce mayor caudal que el dren de bolones, armado in situ simple, limpio y rápido.
- d) Se adapta a cualquier geometría.
- e) No se requiere mano de obra calificada para el armado e instalación.

Propiedades Físicas de un Cubo Dren Estándar (Módulo Simple variación dependiendo del fabricante)

- a) Resistencia de compresión 26 t/m². (Diseñado para uso de tráfico vehicular, en estacionamientos, centros de distribución y estaciones de servicios, etc.)
- b) Caudal máximo 2800 lts/min.
- c) Superficie por unidad 0,28 m².
- d) Volumen de un cubo Dren: 0,12 m³. (0,48m x 0,685m x 0,45m)
- e) Volumen de porosidad 91,50%.



Figura 2.2- Imagen referencial Cubo Dren.

Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.

2.6.2. Legislación vigente ambiental

Respecto a la legislación vigente existe un factor ambiental asociado al proyecto que es la ley N° 19.300, sobre las bases generales del medio ambiente, esta ley establece una serie de normas regulatorias respecto a excavaciones que se originen en los proyectos de construcción como, por ejemplo:

- a) Estudios de suelos permitidos por el SERVIU y el MOP.
- b) Permiso de construcción.
- c) El producto no origine erosión en los suelos.
- d) El producto debe cumplir requisitos mínimos establecidos.

2.6.3. Procedimiento de instalación

La instalación consta del siguiente procedimiento de acuerdo a los cálculos y especificaciones del proyecto:

- a) Nivelación cota inferior de la zanja



*Figura 2.3- Imagen referencial proceso de nivelación.
Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.*

- b) Colocación del Geotextil e instalación Cubo Dren (Polipropileno).



*Figura 2.4- Imagen referencial proceso de colocación del geotextil e instalación de cubo dren.
Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.*

c) Envolver con el Geotextil el Cubo Dren.



Figura 2.5- Imagen referencial proceso de envolver el cubo dren.
Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.

d) Conexiones.

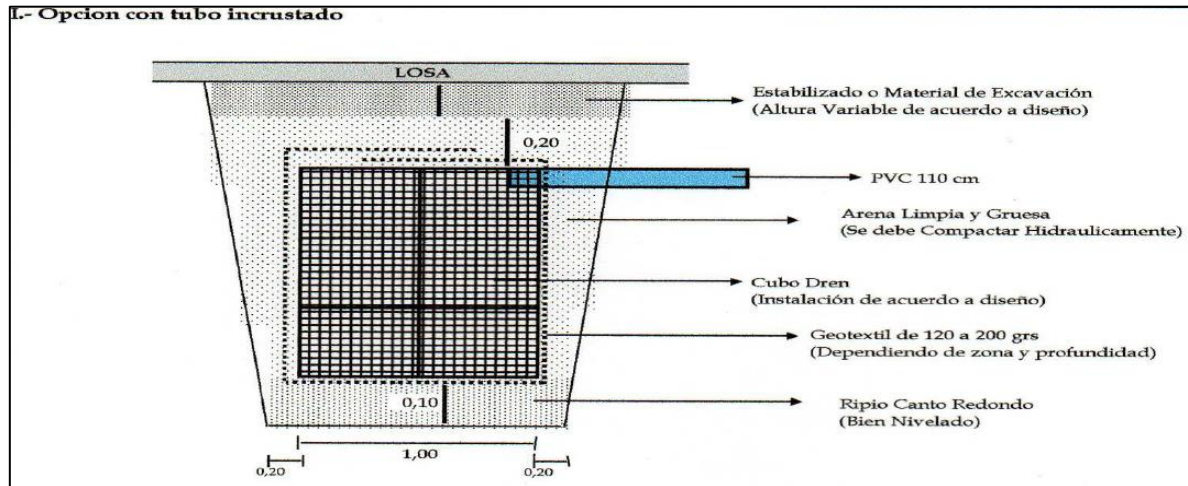


Figura 2.6- Imagen referencial Conexión opción con tubo incrustado.
Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.

II.- Opción con tubo sobre puesto

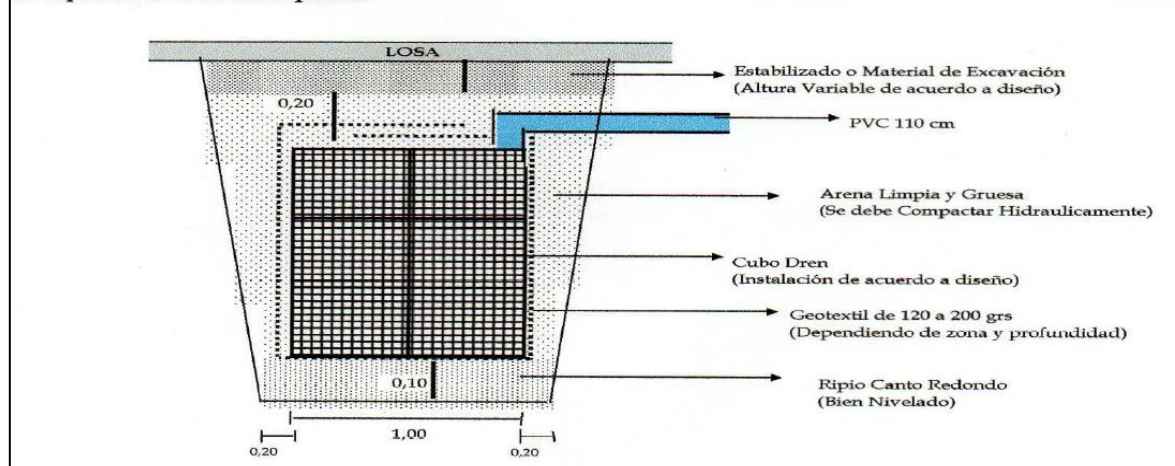


Figura 2.7- Imagen referencial Conexión opción con tubo sobre puesto.
 Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.



Figura 2.8- Tipo Conexión Infiltración Directa: Proyecto Planta Occidental en Königsberg, compuesto por sistemas de almacenamiento/infiltración (cubo dren), zanjías parcialmente impermeables y sistemas de tratamiento de tuberías.

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=xSnnhNix85s> ; fecha visualización junio 2022.

e) Material de relleno.



*Figura 2.9- Imagen referencial proceso de relleno.
Fuente: Ficha Técnica e Instalación Cubo Dren CST maquinarias.*

2.7 Mercado Chileno

En el mercado chileno encontramos tres empresas de gran prestigio y trayectoria que ofrecen productos que permiten drenar las aguas lluvias que escurren de los edificios o zonas urbanas dentro de los productos comercializados encontramos: los cubos drenes, celdas de drenaje, geoceldas y geotextil. (Sanhueza Salinas, 2013).

Empresas destacadas:

- EMIN S.A Sistemas Geotécnicos: Fundada en 1994 ofrece soluciones geotécnicas a distintos requerimientos del mercado independiente combinando la geotecnia, hidrología, hidráulica, medio ambiente y estructuras.
- TECKNOGREEN S.A: Fundada en el año 2000 comenzó a diseñar y fabricar productos que se caracterizaron precisamente por la innovación, tecnología de última generación y por su protección y compromiso con el medio ambiente, presente en obras como: Costanera Norte, Autopista Central, Autopista Vespucio Sur y Autopista General Velásquez.
- INSYTEC S.A: Diseño e instalación de sistemas de alta prestación en hormigón polímero desde 1990 enfocándose a dos segmentos de mercado: Drenaje y Arquitectura.

Nombre empresa	Productos	Servicios
EMIN Sistemas Geotécnicos	• Cubos drenes Atlantis. • Geotextil. • Aplicaciones mineras. • Refuerzos asfálticos • Fundaciones. • Tubos de Geotextil. • Muros de contención. • Obras civiles. • Celdas de drenaje. • Geoceldas.	• Evaluar diseño estructural. • Asesoría técnica en terreno. • Suministro de materiales puestos en obra.
TECKNOGREEN	• Cubodren. • Durogreen (Celdas de drenaje). • Duroceldas (Geoceldas). • T-Wood (Pisos exteriores).	• Análisis y desarrollo de proyectos. • Revisión periódica de los proyectos.
INSYTEC S.A	• Sistemas de canales de hormigón. • Cubo-INSYTEC (Cubos drenes). • Danodren (Celdas de drenaje). • Geotextil. • Hidropiso (Celdas de drenaje). • Prefabricado de hormigón para edificios. • Hidrolavadora • Parkincesped (Celdas de drenaje). • Hidrodrain (Celdas de drenaje).	• Análisis y desarrollo de proyectos. • Instalación de canalización. • Instalación sistema de polipropileno

Figura 2.10- Fuentes y productos comercializados

Fuente: Tesis Prefactibilidad de la Comercialización de Cubos Drenes. Sanhueza Salinas, 2013

Empresa	Producto característico	Dimensión (mm)	Resistencia Máx. (Ton/m ²)	Material	Precio Neto (UN)
Tecknogreen	Cubo Dren	500x560x500	20	Polipropileno	\$7.000
Insitec	CuboInsytec	235x500x265	25,5	Polipropileno	\$8.000
Eming SG	Cubo Atlantis	408x685x450	26	Polipropileno	\$9.000

Tabla 2.5- Precios y Características Cubos Dren.

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo II: Aspectos generales del sector, hidrología y sus variables influyentes en el dimensionamiento del drenaje.

3. Marco Geográfico

3.1 Clima: Clasificación Territorial

Chile presenta una gran variedad de climas, consecuencia de la gran extensión territorial. Se manifiestan marcadas diferencias de humedad, precipitaciones, temperaturas, vientos y otros factos del clima entre las diferentes zonas geográficas. Según MINVU – DICTU de 1996 clasifica a Chile continental en 6 macrozonas, de la cual clasifica a la Región de Valparaíso y alrededores como un clima Mediterráneo. El Manual de Drenaje Urbano del año 2013 las clasifica en 9 macrozonas, en donde la V Región se encuentra con macrozona Semiárida y también Mediterránea Costera.

Dentro de las comunas Semiáridas se encuentran: Petorca, La Ligua, Cabildo, Papudo, Zapallar, Putaendo, Catemu, San Felipe, Santa María, Panquehue, Llaillay, Nogales, Calera, La Cruz, Quillota, Hijuelas, Limache, Olmué, San Esteban, Rinconada, Calle Larga, Los Andes.

Dentro de las comunas Mediterránea Costera: están Puchuncaví, Quintero, Concón, Viña del Mar, Villa Alemana, Valparaíso, Quilpué, Casablanca, Algarrobo, El Quisco, El Tabo, Cartagena, San Antonio, Santo Domingo.

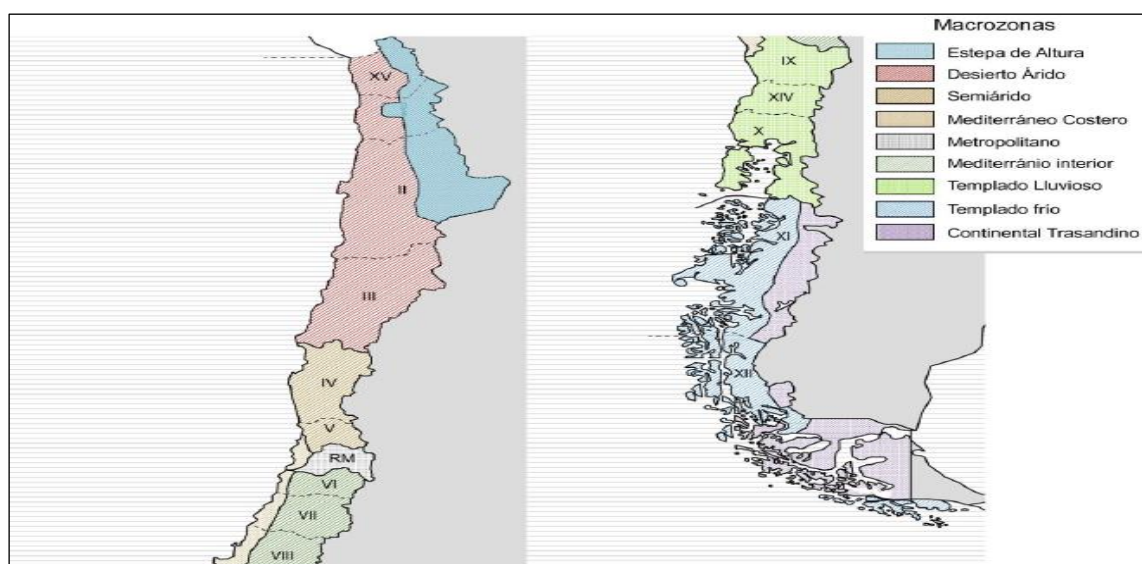


Figura 3.1- Macrozonas homogéneas para el drenaje urbano en Chile.
Fuente: Manual de Drenaje Urbano, 2013.

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Putre	126.2	99.0	30.7	3.5	s/p	s/p	s/p	s/p	0.3	4.1	0.0	61.6	325.4
Arica	4.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	7.8
Iquique	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6
Calama	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.6
Antofagasta	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.2	3.2
La Serena	0.2	0.0	0.0	0.6	0.8	44.0	1.0	2.8	0.4	0.6	0.2	0.0	50.6
Valparaíso	0.1	0.1	0.1	2.5	0.7	150.3	78.9	27.8	0.8	1.1	0.5	0.1	263.0
Santiago	0.0	0.0	0.0	2.5	3.6	110.1	64.6	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	187.7
Curicó	0.0	0.0	0.0	7.8	21.0	259.6	90.8	44.2	8.8	0.4	0.4	5.0	438.0
Chillán	3.1	1.2	0.0	7.8	39.4	258.4	120.2	52.8	20.0	14.8	0.0	3.4	521.1
Concepción	10.6	4.2	42.4	53.6	58.0	344.8	157.0	79.4	29.6	21.6	0.6	7.0	808.8
Temuco	16.0	23.2	9.2	25.9	90.5	187.2	230.5	78.0	61.2	54.4	7.2	40.3	823.6
Valdivia	10.0	24.8	58.1	104.6	154.6	418.4	322.8	135.0	63.8	50.0	20.8	38.0	1400.9
Osorno	31.2	39.8	33.0	99.0	107.6	279.2	250.2	110.6	56.0	37.6	44.0	48.4	1136.6
Puerto Montt	76.0	49.4	60.4	133.6	183.6	204.2	173.4	166.6	77.2	74.8	57.0	95.8	1352.0
Coyhaique	28.6	73.0	23.0	91.8	201.4	204.4	141.2	116.8	54.4	39.0	34.6	31.0	1039.2
Balmaceda	12.4	32.6	6.0	45.7	67.3	95.2	82.1	24.0	16.0	13.0	5.6	16.4	416.3
Punta Arenas	39.4	12.2	40.0	13.6	55.8	17.6	16.4	17.8	9.6	26.0	30.4	20.8	299.6
Isla de Pascua	63.4	137.6	74.2	139.6	96.4	64.6	92.6	67.0	17.6	15.6	77.6	46.8	893.0
J. Fernández	20.8	54.3	73.8	78.3	51.2	194.2	90.4	132.8	67.0	31.8	32.9	13.2	840.7

*Tabla 3.1- Precipitación total mensual de 2020 en Chile, valores en (mm).
Fuente: Reporte Climatológico 2020, Dirección Meteorológica de Chile.*

El clima Mediterráneo, se caracteriza por presentar lluvias frontales de frecuencia variable concentradas entre mayo y agosto, en una época de 3 a 6 meses, y veranos cálidos y prolongados (octubre a marzo). La cantidad de precipitación media anual es del orden de 300 a 600 mm, con alta variabilidad. Los días con lluvia al año son del orden de 30, y la evaporación supera largamente a la precipitación. Las zonas urbanas menores hacia el sur se encuentran en las desembocaduras de cauces importantes. Las urbanizaciones tienen sectores antiguos consolidados y de alta densidad, que conviven con zonas de expansión urbana más reciente. Existe poco desarrollo de sistema de colectores en las zonas más antiguas y falta casi total de ellos en las más nuevas. Las lluvias, más frecuentes que en la macrozona anterior, generan inundaciones de calles y zonas urbanas bajas, pero las descargas son directas a los cauces principales o al mar. (Propuesta de pavimento de hormigón drenante con fibra de basalto para el centro urbano de Quilpué, 2021).

3.2 Clima: Comuna de Quintero

La comuna se encuentra ubicada según la clasificación de Koeppen, en una zona con clima Cs, templado-cálido, con lluvias invernales y estación seca prolongada (8 a 7 meses, dicha estación se inicia en pleno período primaveral para terminar a mediados de abril.) y gran nubosidad, esta clase de climas se encuentra influenciado por dos importantes factores: el del Pacífico en general como regulador térmico y el de la Corriente de Humboldt en particular. La influencia de dichos factores queda de manifiesto tanto en la marcha diaria de la temperatura, como en la distribución anual y sus respectivas oscilaciones. Estos factores se expresan en la clase y estacionalidad de las precipitaciones líquidas.

La nubosidad muestra una oscilación diaria típica del régimen anticiclónico, en particular en los meses de verano cuando la cobertura de cielo de origen frontal es menos frecuente. Dada la proximidad al mar, la humedad es mayor y menores son las oscilaciones diarias y estacionales de la temperatura. Los vientos dominantes son los del oeste, que soplan con fuerza en la costa, pero en el interior son moderados. En invierno dominan los vientos del NW, causantes de lluvias porque provienen de zonas más cálidas. Con respecto a la temperatura, de acuerdo a la data disponible, se puede estimar como un promedio anual representativo de la comuna, un valor de 13,7°C. (Rodríguez Arratia, 2003).

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	17.9	17.9	17	15	13.2	11.6	10.8	11.3	12.2	13.6	15.3	16.6
Temperatura mín. (°C)	14.8	14.9	14.1	12.1	10.3	8.6	7.8	8.4	9.4	10.7	12.1	13.5
Temperatura máx. (°C)	21.6	21.7	20.8	18.6	16.5	15	14.2	14.7	15.5	17.1	19	20.4
Precipitación (mm)	0	1	4	15	50	97	58	52	26	14	3	3
Humedad(%)	76%	77%	78%	80%	83%	84%	83%	83%	82%	79%	75%	75%
Días lluviosos (días)	0	0	1	2	3	5	4	3	2	1	0	0
Horas de sol (horas)	10.5	9.9	9.5	8.2	7.3	7.2	7.4	7.6	8.2	9.3	10.4	10.7

Tabla 3.2- Datos Históricos del tiempo en Quintero (Data: 1991 – 2021).
Fuente: climate-data.org

En cuanto a precipitaciones ocurridas en la comuna de Quintero, estas en general se producen en época de invierno disminuyendo considerablemente en verano.

Según el último pronóstico evaluado con fecha junio de 2022 por la “Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) – Dirección Meteorológica de Chile”, las precipitaciones máximas acumuladas registradas hasta la fecha mencionada son de 62,1 mm aumentando en un 52% lo registrado a la misma fecha del año 2021 (32,3 mm), esta información se puede apreciar en el siguiente gráfico (Figura 3.2):

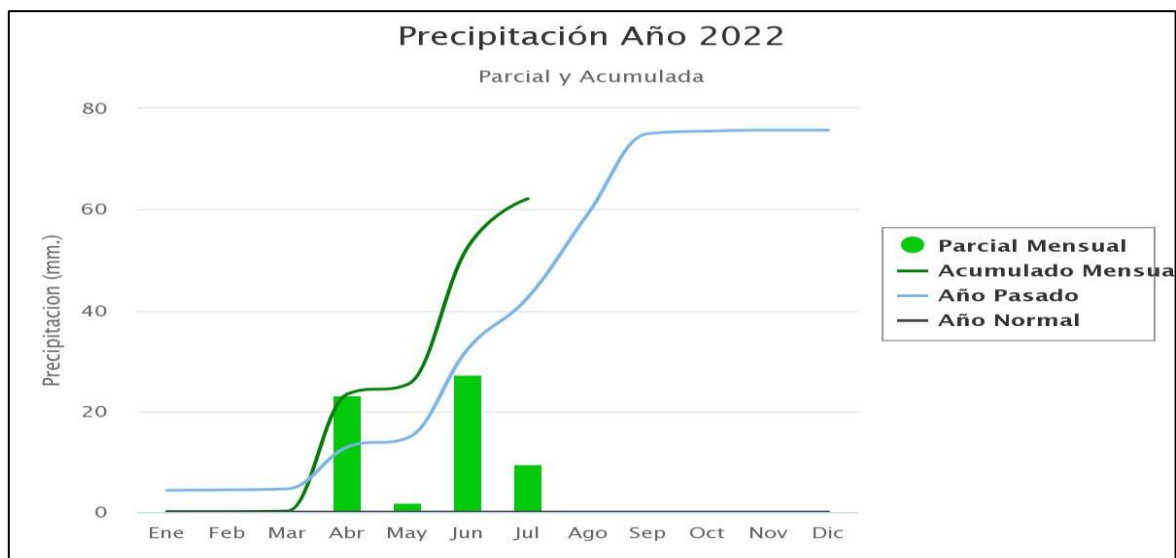


*Figura 3.2- Precipitación anual registrada en Quintero 2022.
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile (DGAC);*

3.3 Aspectos Geomorfológicos

La bahía de Quintero tiene forma de herradura y aparece orientada en dirección norte sur, abierta al norte en forma que no tiene protección respecto a los vientos y oleajes provenientes de ese cuadrante, pero protegida contra los que provienen del sur y del suroeste.

Las rocas predominantes corresponden a Basamento granítico en los cerros de la Cordillera de la Costa y Cubierta sedimentaria de edad actual y sub actual. Geológicamente el área comunal de la zona de Quintero tiene una roca madre predominantemente de tipo cristalino-granítico, fundamentalmente son de naturaleza granítica, intrusivas, con predominio de granodioritas de grano medio a grueso. En la península se suponen del Paleozoico, incluyen, especialmente en los farellones de Puntilla Sanfuentes situada inmediatamente al sur de la playa Los Papagayos, rocas presumiblemente metamórficas.

La tectónica local está caracterizada por la existencia de los siguientes dominios estructurales:

- Un dominio ubicado hacia la costa, con morfología de relieve maduro, suave, caracterizado por niveles de terrazas de abrasión, cuya altura varía entre los 100 y 500 m.s.n.m.
- Una falla de dirección general SO a NE, que se extiende entre el extremo sur del acantilado rocoso de Ritoque y el colinaje costero de Quintero afuera.
- Otro accidente estructural de orientación sur-norte que limita por el este el Horst granítico de Quintero (Rodríguez Arratia, 2003).

3.4 Hidrología

De acuerdo con su sistema hidrográfico, en el área de estudio hay 2 área homogéneas, a saber:

- **Bahía:** Comprende la sección Este de la Punta Liles hasta la cota 145 m.s.n.m, siguiendo la línea de altas cumbres. Su sistema hidrográfico está constituido por quebradas intermitentes, cuyos recursos naturales se orientan hacia la bahía de Quintero; sin embargo, dichos recursos se encuentran interrumpidos por la urbanización del sector.
- **Litoral y Dunas:** está área en su sección norte y poniente corresponde a acantilados y por lo general las quebradas desembocan directamente hacia el mar

3.5 Emplazamiento y Demografía

La comuna de Quintero se encuentra ubicada al norte del litoral de la provincia de Valparaíso V región, su superficie alcanza los 148 km² y una población de 31.923 habitantes de los cuales un 84,2% representan el sector urbano comunal (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019). Esta deslinda al Norte con la comuna de Puchuncaví, al Oriente con la Comuna de Quillota, Al Sur con la comuna de Concón y al Poniente con el Océano Pacífico. (González Varas, 2012).

CHILE: División Político-Administrativa y Censal							
REGION, PROVINCIAS, COMUNAS Y DISTRITOS CENSALES	Superficie Km ²	Población Censo 2017			Viviendas Censo 2017		
		Total	Urbana	Rural	Total	Urbana	Rural
05107 Comuna Quintero	146,2	31.923	26.884	5.039	17.442	14.952	2.490
Distrito Censal							
01 Quintero	24,5	26.368	26.247	121	14.948	14.768	180
02 Valle Alegre	62,1	1.529	0	1.529	825	0	825
03 Dumuño	59,6	3.389	0	3.389	1.485	0	1.485
99 Rezagados		637	637	0	184	184	0

Tabla 3.2- División Político-Administrativo y Censal Comuna de Quintero.
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Chile.

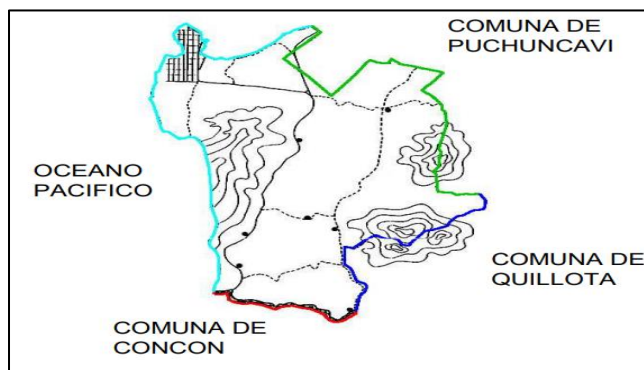


Figura 3.3- Delimitación demográfica Comuna de Quintero.
Fuente: Estudio de localidades rurales de Quintero, 2012, Francisca Gonzales Varas, PUCV.

3.6 Red vial existente

La comuna de Quintero se conecta con el resto de la región y alrededores a través de la siguiente red vial (Carvajal Tapia, 2015):

- Ruta F-30-E:** Camino costero pavimentado en hormigón de dos pistas de 22,1 kilómetros de longitud, de los cuales 16,5 son de hormigón y 5,6 de asfalto. Une por el sur a Quintero con el camino Internacional en Concón, y por el norte, con la Comuna de Puchuncaví.
- Ruta F-210:** Camino pavimentado en hormigón de dos pistas de 7,5 kilómetros de longitud, corresponde al acceso a Quintero, la que empalma a la Ruta F-30-E.
- Ruta F-190:** Camino interior pavimentado de dos pistas de 26,5 kilómetros de longitud. Une Santa Rosa de Colmo con Valle Alegre, Quintero-Puchuncaví.
- Ruta F-212:** Camino que corresponde al acceso de Loncura y empalma a la Ruta F-210 consta de dos kilómetros de longitud,
- Ruta F-216:** Ruta de dos pistas de 3,65 kilómetros de longitud. Ésta corresponde al acceso a la zona rural de Valle Alegre y une la ruta F-30-E con la ruta F-190.
- Ruta F-218:** Corresponde al acceso al balneario de Ritoque, su longitud es de 3,5 kilómetros y empalma con la Ruta F-210.
- Ruta F-226:** Corresponde a dos pistas de 2,1 kilómetros de longitud, que une las zonas rurales de Chilicauquén y Valle Alegre, empalmando en la Ruta F-210.
- Ruta F-240:** Camino de dos pistas de 6,3 kilómetros de longitud, corresponde al acceso de Las Gaviotas uniendo las Rutas F-30-E con la Ruta F-190.

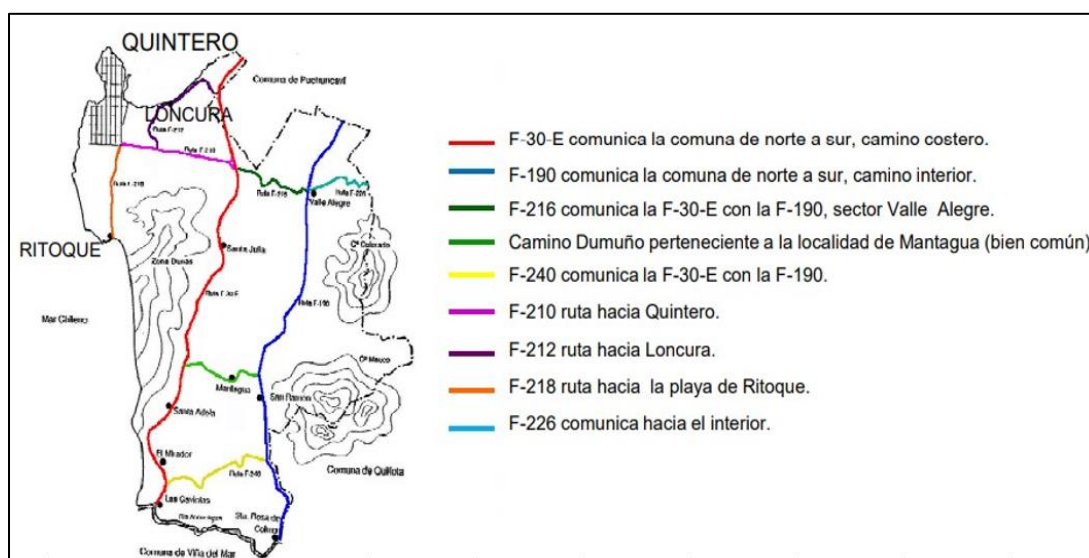


Figura 3.4- Rutas de conexión vial.

Fuente: Estudio de localidades rurales de Quintero 2012, Francisca Gonzales Varas, PUCV

3.7 Área Urbana

La comuna de Quintero tiene una fuerte tendencia residencial en su uso de suelo, en donde cuenta aproximadamente en un 90% con una implementación comercial y de servicios ubicada en lo que se llamó “Barrio Central”, respecto a las características físicas de la red vial dentro del área de estudio específicamente Avenida Normandie, en el sector cercano al centro urbano de Quintero la mayoría de las vías se encuentran hoy en día pavimentadas.

La ciudad se ha estructurado en torno a los siguientes elementos urbanos:

- Avenida Normandie y Prolongación Avda. 21 de mayo: Corresponde a la vía de acceso a la ciudad y conduce hasta el Balneario El Durazno y Muelle Fiscal. En este eje se ha desarrollado el sector comercial más importante de la ciudad.
- Centro Comercial: Conformado por tres manzanas que se conectan con Avda. Normandie. En esta área se ubican algunos edificios de equipamiento, tales como Municipalidad, Bancos, Correo; constituyendo el Centro Cívico.
- Área Residencial: Se compone de la mayor parte del área urbana. Ésta corresponde a la zona antigua de la comuna que se sitúa al poniente de los terrenos de la FACH y que se ido expandiendo hacia el sur hasta calle Lazo.

3.8 Tipo de Suelo

A fin de poder obtener datos respecto al tipo de suelo existente en la comuna de Quintero, se recopiló información de estudios e informes realizados en la comuna en relación a la mecánica de suelo se realizó una recopilación de distintos informes y estudios de mecánica de suelo realizados en la comuna.

Resultado de lo anterior se procedió a estimar el tipo de suelo que tiene mayor presencia en la comuna, donde, del total de estudios, cerca de un 83% demostró presentar un suelo del tipo “Arena Limosa”, no obstante, en el sector en donde se desea redirigir las aguas pluviales se realizaron ensayos en terreno determinando que más del 90% de su composición es arena con restos de material orgánico.

Capítulo III: Análisis hidrológico de zonas inundables en Av. Normandie, Quintero

4. Lluvia de diseño

4.1 Metodología

Para el diseño y desarrollo de la propuesta se realizaron las siguientes etapas previas:

- a) Recolectar y analizar la información de las precipitaciones diarias máximas anuales registradas en la estación pluviométrica correspondiente en este caso “Faro Punta Ángeles”. A fin de realizar un análisis probabilístico del sector se abarcaron datos en el período de estudio desde 1961 hasta septiembre de 2022.
- b) Utilizar distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel, aplicando correcciones de intervalo a fin de obtener un mejor ajuste para en el cálculo de las precipitaciones diarias máximas probables para distintos períodos de retorno y probabilidad de ocurrencia mediante ecuación de Weibull.
- c) Calcular las precipitaciones máximas en intervalos de 1 hora a fin de completar el registro de un día por tiempos de duración (Periodo de Retorno) de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años; aplicando coeficientes de relación de lluvia para 24 horas según se establece en “*Manual de drenaje Urbano DOH, 2013*”.
- d) Calcular la intensidad de lluvia en mm/h, según los valores de duración de precipitación y frecuencia de la misma.
- e) Obtener el modelo matemático que comprende: calcular las precipitaciones diarias máximas probables para diferentes periodos de retorno con la función de distribución de probabilidad de Gumbell, cabe mencionar que en proyectos de drenaje urbano de aguas lluvias es habitual considerar dos tipos de tormentas, una de diseño con la cual se dimensionan los elementos del sistema con períodos de retorno entre 2 y 10 años y otra de verificación con la cual se comprueba que para situaciones extremas no ocurran problemas graves aunque se aceptan fallas e inconvenientes, que corresponde a períodos de retorno entre 50 y 100 años (Manual de Drenaje Urbano DOH, 2013).
- f) Establecer las precipitaciones máximas para tiempos de duración de lluvia de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 y 24 horas, como un porcentaje de la precipitación máxima probable para 24 horas, para cada periodo de retorno; obtener los parámetros de la ecuación de intensidad en función de la duración y tiempo de retorno aplicando regresión potencial.
- g) Representar y analizar las curvas IDF para diferentes períodos de retorno, obtenidas al mediante el modelo matemático.

4.2 Concepto y obtención de datos

Para determinar la lluvia de diseño se requiere el registro histórico de una lluvia base calculada, curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) y el hietograma para dichas precipitaciones.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, conocidas como curvas IDF, son aquellas curvas que resultan de unir puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978). Lo que significa, que es una representación gráfica de la relación entre la intensidad de la precipitación, su duración y la frecuencia de esta.

A partir de estas curvas de intensidad-duración-frecuencia, se puede obtener el hietograma a utilizar, el cual es un gráfico o tabla que expresa la precipitación recogida en intervalos regulares de tiempo, y puede tener una duración de horas, días, meses o años (Sanchez, 2018).

Como se mencionó anteriormente para calcular dichos puntos se necesitan las precipitaciones máximas en 24 horas de la comuna de Quintero, dentro del territorio existen estaciones cercanas tanto en la comuna de Puchuncaví como en el sector de Valle Alegre, sin embargo no cuentan con registros actualizados de precipitaciones y sus intervalos de monitoreos son extensos generando brechas de años sin registros, es por ello que se analizó una estación dentro de la comuna de Valparaíso que presente datos similares a los aportados por dichas estaciones seleccionando la estación “Faro Punta Ángeles” de la Dirección Meteorológica de Chile - Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) obteniendo los siguientes registros:

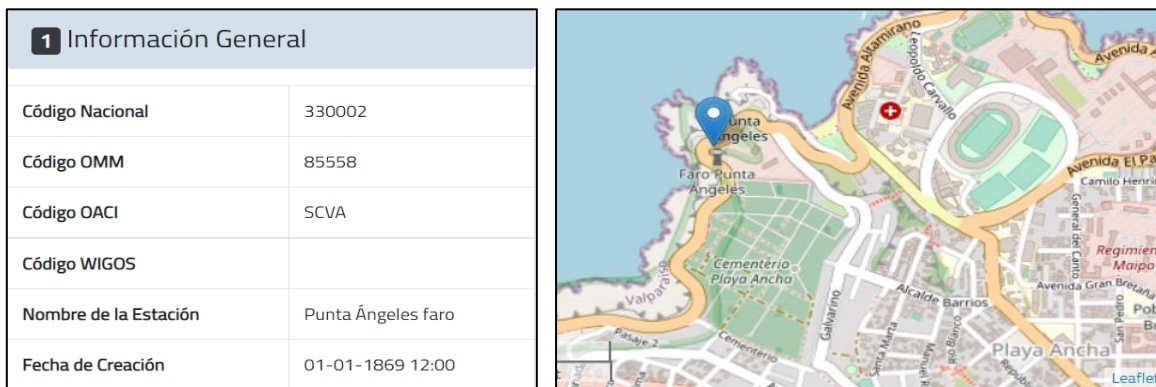


*Figura 4.1- Estación Punta Ángeles información general y emplazamiento.
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile*

Año	Precipitación Máxima 24 hrs anual (mm)
1961	60,3
1962	72,2
1963	53,0
1964	41,6
1965	93,0
1966	49,2
1967	46,8
1968	24,8
1969	29,9
1970	37,2
1971	50,4
1972	38,0
1973	28,8
1974	47,0
1975	57,2
1976	57,6
1977	43,8
1978	57,8
1979	136,6
1980	42,3
1981	148,8
1982	67,0
1983	40,0
1984	84,9
1985	50,8
1986	57,4
1987	77,0
1988	23,0
1989	43,3
1990	62,6
1991	81,0

Año	Precipitación Máxima 24 hrs anual (mm)
1992	118,0
1993	42,0
1994	52,0
1995	51,0
1996	45,6
1997	85,4
1998	33,8
1999	43,4
2000	77,4
2001	190,6
2002	117,2
2003	117,7
2004	60,0
2005	38,2
2006	84,1
2007	37,8
2008	103,4
2009	75,5
2010	32,9
2011	56,3
2012	48,5
2013	105,8
2014	58,1
2015	47,3
2016	46,6
2017	50,1
2018	59,0
2019	20,6
2020	50,3
2021	26,3
2022	87,2

Tabla 4.1- Precipitación Máxima en 24 horas, Estación Punta Ángeles. Periodo: 1961- septiembre 2022.
Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, DGA.

Del registro anterior se puede apreciar que la mayor precipitación ocurrida en 24 horas se registró el año 2021 con 190.6 mm, esto quiere decir que en el transcurso de dichos 12 meses hubo un mes (junio según datos de Dirección Meteorológica de Chile) en donde en un día se produjo el máximo de precipitaciones registradas diarias.

4.3 Histograma de Frecuencia

Obtenidos los datos del registro histórico de precipitaciones se procede a realizar el histograma de frecuencias a fin de establecer la concentración de lluvias recurrentes y el periodo de retorno optimo a utilizar, para ello se agruparon en orden descendente las precipitaciones máximas diarias (24 horas).

Años	Max P.D 24h (mm)
2001	190,6
1981	148,8
1979	136,6
1992	118
2003	117,7
2002	117,2
2013	105,8
2008	103,4
1965	93
2022	87,2
1997	85,4
1984	84,9
2006	84,1
1991	81
2000	77,4
1987	77
2009	75,5
1962	72,2
1982	67
1990	62,6
1961	60,3
2004	60
2018	59
2014	58,1
1978	57,8
1976	57,6
1986	57,4
1975	57,2
2011	56,3
1963	53
1994	52

Años	Max P.D 24h (mm)
1995	51
1985	50,8
1971	50,4
2020	50,3
2017	50,1
1966	49,2
2012	48,5
2015	47,3
1974	47
1967	46,8
2016	46,6
1996	45,6
1977	43,8
1999	43,4
1989	43,3
1980	42,3
1993	42
1964	41,6
1983	40
2005	38,2
1972	38
2007	37,8
1970	37,2
1998	33,8
2010	32,9
1969	29,9
1973	28,8
2021	26,3
1968	24,8
1988	23
2019	20,6

Tabla 4.2- Precipitación Máxima en 24 horas, orden descendente respecto a su h de precipitación
Fuente: Elaboración propia

Para generar una tabla de histogramas de frecuencia los valores anteriormente mencionados se agruparon en doce filas (N° de clases) ordenándolos de menor a mayor en intervalos de 14,2 (ancho de clases). Este valor se calculó dividiendo el Rango obtenido (valor máx. – valor mín) con el número de clases, a fin de obtener el dato de eventos que ocurren dentro del rango de precipitaciones agrupados.

Valor Máx.	Valor mín.	Rango	N° Clases	Ancho de Clases
51,0	20,6	30,4	12	14,2

TABLA HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS

N° Clases	Clases		N° Eventos	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada
1	20,6	34,8	8	0,13	0,13
2	34,8	48,9	17	0,27	0,40
3	48,9	63,1	18	0,29	0,69
4	63,1	77,3	4	0,06	0,76
5	77,3	91,4	6	0,10	0,85
6	91,4	105,6	2	0,03	0,89
7	105,6	119,8	4	0,06	0,95
8	119,8	133,9	0	0,00	0,95
9	133,9	148,1	1	0,02	0,97
10	148,1	162,3	1	0,02	0,98
11	162,3	176,4	0	0,00	0,98
12	176,4	190,6	1	0,02	1,00

Σ eventos : 62

*Tabla 4.3- Tabla Histograma de Frecuencias, Frecuencia Relativa y Absoluta.
Fuente: Elaboración propia*

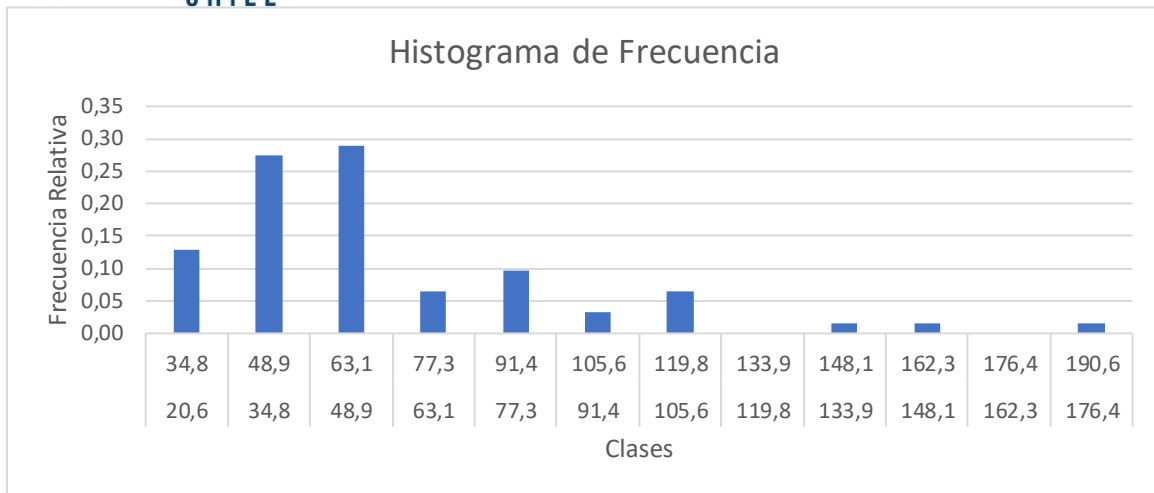


Figura 4.2- Histograma de Frecuencia Relativa.
Fuente: Elaboración propia

Del diagrama anterior se puede apreciar que la distribución se encuentra sesgada a la izquierda abarcando cerca del 60 % de las precipitaciones entre 20.6 - 63.1 mm esto debido a que los eventos máximos hacen que crezcan colas de distribución.

4.4 Curva de Frecuencia y probabilidad de excedencia Ecc.Weibull

Se realiza el cálculo de la T_r (tasa de retorno) para las precipitaciones obtenidas mediante la Ecuación de Weibull que establece el cálculo de esta mediante la siguiente expresión:

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \quad (14)$$

Donde “n” equivale al N° total de datos de la muestra $n=62$ y “m”, la numeración en orden descendente de las precipitaciones las cuales deben estar ordenadas de mayor a menor. En la Tabla 1.13 se muestra un extracto de los datos calculados para cada uno de los datos obtenidos en donde se aprecia además el cálculo del porcentaje de excedencia que refiere a la probabilidad de que un evento pueda ocurrir o ser superado mediante la fórmula presentada a continuación:

$$P_{excedencia} = \frac{1}{T_r} \quad (15)$$

m	Max P.D 24h (mm)	Tr (años)	Probabilidad Excedencia	Probabilidad No Excedencia
1	190,6	63,0	2%	98%
2	148,8	31,5	3%	97%
3	136,6	21,0	5%	95%
4	118	15,8	6%	94%
5	117,7	12,6	8%	92%
6	117,2	10,5	10%	90%
7	105,8	9,0	11%	89%
8	103,4	7,9	13%	87%
9	93	7,0	14%	86%
10	87,2	6,3	16%	84%
				...
62	20,6	1,0	98%	2%

Tabla 4.4- Cálculo de Tr y Probabilidad de excedencia para diferentes alturas de precipitación máximas registradas.
Fuente: Elaboración propia

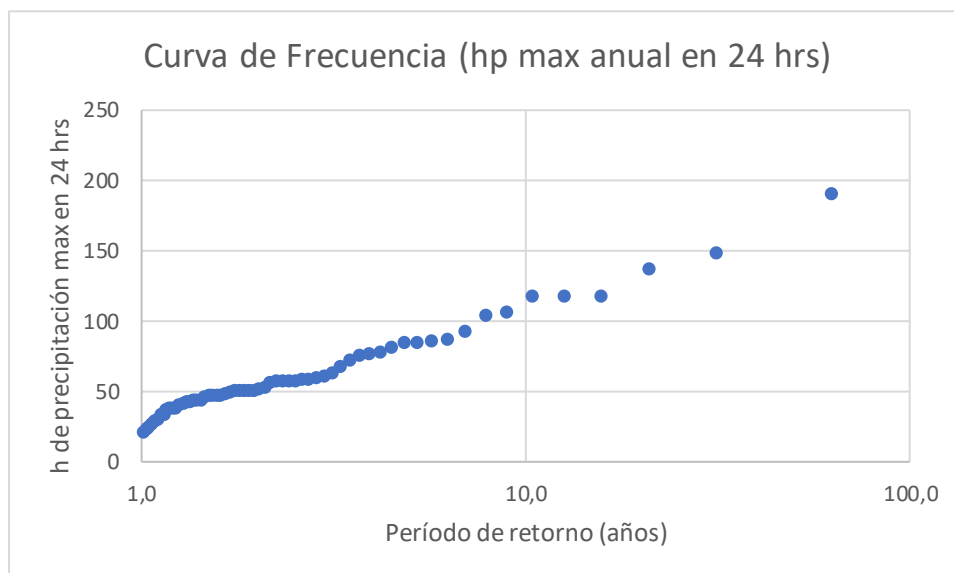


Figura 4.3- Gráfico curva de frecuencia: Alturas para distintos Periodos de Retorno.
Fuente: Elaboración propia

Con dicha información se procede a realizar los procedimientos correspondientes para la obtención de las curvas IDF:

4.5 Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Nº	Año	Max Precipitación Diaria 24 hrs. anual (mm)	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
1	1961	60,30	60,30	4,1826847
2	1962	72,20	72,20	97,117846
3	1963	53,00	53,00	87,3320395
4	1964	41,60	41,60	430,361717
5	1965	93,00	93,00	939,719136
6	1966	49,20	49,20	172,795265
7	1967	46,80	46,80	241,65204
8	1968	24,80	24,80	1409,63914
9	1969	29,90	29,90	1052,68849
10	1970	37,20	37,20	632,279136
11	1971	50,40	50,40	142,686878
12	1972	38,00	38,00	592,686878
13	1973	28,80	28,80	1125,27785
14	1974	47,00	47,00	235,473975
15	1975	57,20	57,20	26,4726847
16	1976	57,60	57,60	22,5165557
17	1977	43,80	43,80	343,923007
18	1978	57,80	57,80	20,6584912
19	1979	136,60	136,60	5513,78107
20	1980	42,30	42,30	401,808491
21	1981	148,80	148,80	7474,43914
22	1982	67,00	67,00	21,6675234
23	1983	40,00	40,00	499,306233
24	1984	84,90	84,90	508,720749
25	1985	50,80	50,80	133,290749
26	1986	57,40	57,40	24,4546202
27	1987	77,00	77,00	214,764298
28	1988	23,00	23,00	1548,04172
29	1989	43,30	43,30	362,718169
30	1990	62,60	62,60	0,06494277
31	1991	81,00	81,00	348,003007
32	1992	118,00	118,00	3097,46107
33	1993	42,00	42,00	413,925588

Nº	Año	Max Precipitación Diaria 24 hrs. anual (mm)	Precipitación (mm)	
			x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
34	1994	52,00	52,00	107,022362
35	1995	51,00	51,00	128,712685
36	1996	45,60	45,60	280,400427
37	1997	85,40	85,40	531,525588
38	1998	33,80	33,80	814,826233
39	1999	43,40	43,40	358,919136
40	2000	77,40	77,40	226,648169
41	2001	190,60	190,60	16449,3037
42	2002	117,20	117,20	3009,05333
43	2003	117,70	117,70	3064,15817
44	2004	60,00	60,00	5,49978148
45	2005	38,20	38,20	582,988814
46	2006	84,10	84,10	473,273007
47	2007	37,80	37,80	602,464943
48	2008	103,40	103,40	1685,49978
49	2009	75,50	75,50	173,049781
50	2010	32,90	32,90	867,017523
51	2011	56,30	56,30	36,543975
52	2012	48,50	48,50	191,688491
53	2013	105,80	105,80	1888,32301
54	2014	58,10	58,10	18,02
55	2015	47,30	47,30	226,36
56	2016	46,60	46,60	247,91
57	2017	50,10	50,10	149,94
58	2018	59,00	59,00	11,19
59	2019	20,60	20,60	1742,66
60	2020	50,30	50,30	145,09
61	2021	26,30	26,30	1299,25
62	2022	87,20	87,20	617,76
62		Suma	3865,4	64075,0

Tabla 4.5- Precipitación mm máximo en 24 horas registro anual (cálculos promedios y desviación media).

Fuente: Elaboración Propia

El primer paso para poder crear las curvas IDF, corresponde a calcular la precipitación máxima probable para cierto periodo de retorno a partir de los datos obtenidos de Precipitación Máximas en 24 horas registrados anualmente Tabla 1.15 y representada por x_i en la Tabla 1.14

Cálculo variables probabilísticas	
$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} =$	62,35 mm
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$	32,41 mm
$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * \sigma =$	25,27 mm
$\beta = \bar{x} - 0.5772 * \alpha =$	47,76 mm
$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)}}$	

Tabla 4.6- Cálculos variables probabilísticas
Fuente: Elaboración Propia

Con los datos mencionados anteriormente se procede a calcular los siguientes valores expresados en la Tabla 1.14: el promedio de la precipitación máxima mensual $\bar{x} = 62.35$ mm, la desviación estándar $\sigma = 32.41$ mm y los valores de los coeficientes según la ecuación α y β corresponden a 25.27 mm y 47.76 mm respectivamente.

Al reemplazar dichos valores en la ecuación de Gumbel (1) correspondiente obtenemos un modelo estadístico para inferencia de probabilidad de precipitaciones que en este caso es el siguiente:

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-47.76}{25.27}\right)}} \quad (16)$$

Donde x corresponde a la altura de precipitación (mm) y el resultado obtenido es el % de probabilidad de que ocurran eventos menores al ingresado o bien denominado Probabilidad de no Excedencia, por ejemplo, un evento similar al ocurrido en el año 2001 en donde $x = 190.6$ mm da como resultado $F(x) = 0.996$ lo que en porcentaje equivale a un 97% de probabilidad de que ocurran eventos menores al mencionado y solo un 3% de que ocurra el mismo evento e inclusive sea superado.

En la siguiente Tabla 1.15 se obtienen precipitaciones máximas probables para distintos periodos de retorno (Tr) 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años, en donde se obtiene la columna variable reducida (YT) mediante la siguiente ecuación:

$$YT = -\ln \left(\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right) \quad (17)$$

Obtenida YT se calcula la precipitación estimada XT' (mm) mediante la siguiente expresión con α y β ya calculados:

$$XT' = \mu + \alpha \cdot YT \quad (18)$$

Luego la probabilidad de ocurrencia de la precipitación $F(x)$ se obtiene al aplicar la ecuación de Gumbel mencionada anteriormente (16), reemplazando los valores de precipitación XT' obtenidos en la ecuación (18)

A fin de obtener una mayor precisión respecto a las alturas de precipitación para distintos periodos de retorno se calcula la corrección de intervalo fijo en donde se multiplican los valores de precipitación por 1.13 este valor según se menciona en el estudio de proporción de lluvia máxima verdadera de intervalo fijo (Weiss L, 1964) y reflejados en la tabla 1.16.

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Variable Reducida</i>	<i>Precip. (mm)</i>	<i>Prob. de ocurrencia</i>	<i>Corrección intervalo fijo</i>
<i>Años</i>	<i>YT</i>	<i>XT'(mm)</i>	<i>F(xT)</i>	<i>XT (mm)</i>
2	0,3665	57,0211	0,5000	64,4338
5	1,4999	85,6628	0,8000	96,7990
10	2,2504	104,6261	0,9000	118,2275
25	3,1985	128,5863	0,9600	145,3025
50	3,9019	146,3613	0,9800	165,3883
100	4,6001	164,0051	0,9900	185,3257
500	6,2136	204,7772	0,9980	231,3982

*Tabla 4.7- Precipitaciones diarias máximas probables para diferentes
Periodos de Retorno.*

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Estimación Periodo de Retorno

Se realizó una estimación para la evaluación del Periodo de Retorno ideal a implementar, en donde mediante los datos calculados se obtuvieron valores proyectados con la Ecuación de Gumbel previo a corrección (destacados en color), estos fueron comparados con los datos reales obtenidos optando por un Periodo de Retorno ideal de 10 años ya que en este punto comienza la dispersión de los valores ingresados:

	Calculados Gumbel	Observados
Tasa de Retorno (Tr)	hp máximos	hp máximos
2	57,02	-
5	85,67	-
10	104,63	-
25	128,59	-
50	146,37	-
100	164,01	-
200	181,59	-
500	204,78	-
1000	222,31	-
63,0	152,3	190,6
31,5	134,5	148,8
12,6	110,8	117,7
		...
1,0	11,8	20,6

Tabla 4.8- Proyección hp máximos (Ecc. de Gumbel).
Fuente: Elaboración Propia

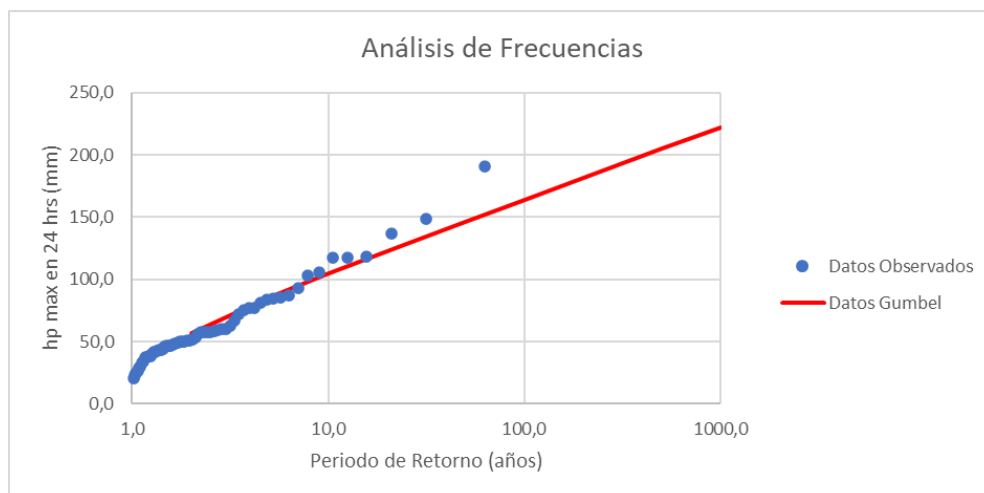


Figura 4.4- Gráfico hp proyectadas máximas para distintos Periodos de Retorno
Fuente: Elaboración Propia

4.7 Coeficientes para relación de lluvia de 24 horas

Se establecen las relaciones respectivas de lluvia de 24 horas utilizadas para duraciones de varias horas según lo establecido en (Manual de Drenaje Urbano DOH, 2013) e identificadas en Tabla 1.18:

Duraciones, en horas									
1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
0,15	0,23	0,33	0,46	0,55	0,64	0,70	0,78	0,90	1,00

Tabla 4.9- Coeficientes para relaciones a precipitación de duración 24 horas.
Fuente: Manual de drenaje Urbano DOH, 2013

4.8 Cálculo de precipitaciones máximas para distintos tiempos de duración.

Con los datos anteriormente mencionados se calcula la precipitación máxima diaria (Pd) para diferentes tiempos de duración correspondientes a los porcentajes de precipitación máxima probable en 24 horas para distintos periodos de retorno reflejados en la Tabla 1.18:

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24 = 100%	64,4338	96,7990	118,2275	145,3025	165,3883	185,3257	231,3982
18 hr	X18 = 90%	57,9905	87,1191	106,4047	113,3359	148,8494	166,7932	208,2584
14 hr	X14 = 78%	50,2584	75,5032	92,2174	113,3359	129,0028	144,5541	180,4906
12 hr	X12 = 70%	45,1037	67,7593	82,7592	101,7117	115,7718	129,7280	161,9787
10 hr	X10 = 64%	41,2377	61,9513	75,6656	92,9936	105,8485	118,6085	148,0948
8 hr	X8 = 55%	35,4386	53,2394	65,0251	79,9164	90,9635	101,9292	127,2690
6 hr	X6 = 46%	29,6396	44,5275	54,3846	66,8391	76,0786	85,2498	106,4432
4 hr	X4 = 33%	21,2632	31,9437	39,0151	47,9498	54,5781	61,1575	76,3614
2 hr	X2 = 23%	14,8198	22,2638	27,1923	33,4196	38,0393	42,6249	53,2216
1 hr	X1 = 15%	9,6651	14,5198	17,7341	21,7954	24,8082	27,7989	34,7097

Tabla 4.10- Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.
Fuente: Elaboración propia

4.9 Intensidades de lluvia a partir de Precipitación diaria (Pd)

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, la altura de precipitación por unidad de tiempo (mm/h); comúnmente se utiliza la intensidad promedio, donde P es la altura de lluvia en (mm) y Td es la duración en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno Tr (Suárez Aguilar & Sepúlveda Delgado , 2020), dichos cálculos establecidos en la Tabla 1.20:

$$I = \frac{P(mm)}{t(hr)} \quad (19)$$

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	2,685	4,033	4,926	6,054	6,891	7,722	9,642
18 hr	1080	3,222	4,840	5,911	6,296	8,269	9,266	11,570
14 hr	840	3,590	5,393	6,587	8,095	9,214	10,325	12,892
12 hr	720	3,759	5,647	6,897	8,476	9,648	10,811	13,498
10 hr	600	4,124	6,195	7,567	9,299	10,585	11,861	14,809
8 hr	480	4,430	6,655	8,128	9,990	11,370	12,741	15,909
6 hr	360	4,940	7,421	9,064	11,140	12,680	14,208	17,741
4 hr	240	5,316	7,986	9,754	11,987	13,645	15,289	19,090
2 hr	120	7,410	11,132	13,596	16,710	19,020	21,312	26,611
1 hr	60	9,665	14,520	17,734	21,795	24,808	27,799	34,710

Tabla 4.11- Intensidad de lluvia 24 horas según Período de Retorno.
Fuente: Elaboración propia

4.10 Representación matemática de las curvas IDF

El modelo matemático que relaciona simultáneamente: la intensidad máxima de precipitación (i) en mm/hr, duración de la precipitación (t) en minutos, frecuencia en función del período de retorno (T) y los parámetros K , m , n , que dependen de la zona de estudio (Suárez Aguilar & Sepúlveda Delgado, 2020) se expresa en la siguiente ecuación:

$$I = \frac{k T^m}{t^n} \quad (20)$$

En donde realizando el siguiente cambio de variable $d = k T^m$ y reemplazando esta en la ecuación inicial se obtiene la siguiente expresión:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d t^{-n} \quad (21)$$

Para poder calcular los valores de K , m , n , se aplica la regresión lineal múltiple a la ecuación $i = d t^{-n}$ obtenida al reemplazar $d = k \cdot T^m$ en la ecuación inicial obteniendo los valores para d (término constante de regresión), n (coeficiente de regresión) y el coeficiente de correlación R directamente de la curva del gráfico generado, para cada período de retorno (Anexo 1), a modo de explicación se identifica en la Figura 4.5 los valores obtenidos para un período de retorno utilizado de $T=10$ años:

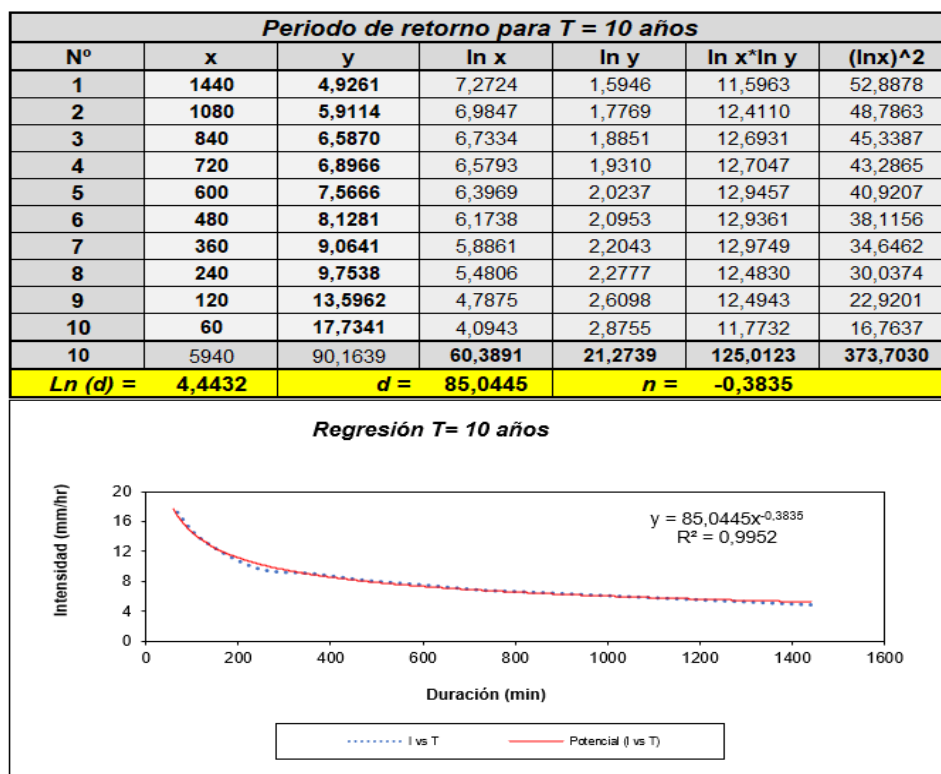


Figura 4.5- Términos d , n y R para un periodo de retorno $T=10$ años.
Fuente: Elaboración Propia.

Resumen de aplicación de regresión potencial			
Periodo de Retorno (años)	Término constante de regresión (d)	Coef. de regresión [n]	Coef. de regresión [n]
2	46,3491	-0,383478	0,383478
5	69,6303	-0,383478	0,383478
10	85,0445	-0,383478	0,383478
25	112,8089	-0,398484	0,398484
50	118,9686	-0,383478	0,383478
100	133,3102	-0,383478	0,383478
500	166,4515	-0,383478	0,383478
Promedio =	104,6519	-0,385622	0,385622

Tabla 4.12- Regresión potencial para distintos Periodos de Retorno.
Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos de término constante de regresión (d) y coeficiente de regresión (n), se realizó otra regresión potencial entre las columnas del período de retorno T y el término constante de regresión d a fin de obtener los valores de la constante de regresión (K) y coeficiente de regresión (m) de la fórmula de Intensidad de precipitación:

$$I = \frac{k \cdot T^m}{t^n} \quad (22)$$

Regresión potencial						
Nº	T	d	ln T	ln d	ln T*ln d	(lnT)^2
1	2	46,3491	0,6931	3,8362	2,6591	0,4805
2	5	69,6303	1,6094	4,2432	6,8292	2,5903
3	10	85,0445	2,3026	4,4432	10,2308	5,3019
4	25	112,8089	3,2189	4,7257	15,2114	10,3612
5	50	118,9686	3,9120	4,7789	18,6950	15,3039
6	100	133,3102	4,6052	4,8927	22,5316	21,2076
7	500	166,4515	6,2146	5,1147	31,7859	38,6214
7	692	732,5631	22,5558	32,0345	107,9429	93,8667
Ln (K) = 3,8586		K = 47,3979	m = 0,2228			

Constante de regresión (K) = 47,3979

Coef. de regresión (m) = 0,222757

Tabla 4.13- Regresión potencial, constante de regresión K y coeficiente de regresión m
Fuente: Elaboración propia

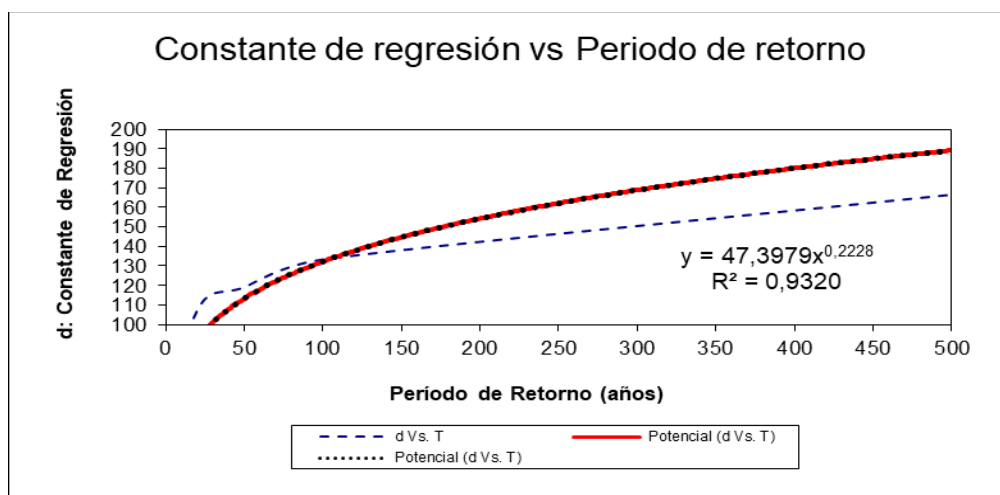


Figura 4.6- Gráfica de regresión $d = k \cdot T^m$
Fuente: Elaboración propia

4.11 Ecuación de Intensidad y curvas IDF

Para $d = k \cdot T^m$ se encuentran valores para $k=47.3979$ y $m=0.222757$, con esta información y reemplazando dichos valores en la ecuación (22), se obtiene que el modelo matemático que describe el comportamiento de las precipitaciones para la zona de estudio es el siguiente:

$$I = \frac{47.3979 \cdot T^{0.222757}}{t^{0.385622}} \quad (23)$$

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	29,74	22,76	19,47	17,42	15,99	14,90	14,04	13,34	12,74	12,24	11,79	11,41
5	36,47	27,92	23,87	21,37	19,61	18,27	17,22	16,36	15,63	15,01	14,47	13,99
10	42,56	32,58	27,86	24,94	22,88	21,33	20,10	19,09	18,24	17,51	16,88	16,32
25	52,19	39,95	34,17	30,58	28,06	26,15	24,65	23,41	22,37	21,48	20,70	20,02
50	60,91	46,62	39,87	35,69	32,74	30,52	28,76	27,32	26,10	25,06	24,16	23,36
100	71,08	54,41	46,53	41,65	38,21	35,62	33,56	31,88	30,46	29,25	28,19	27,26
500	101,73	77,87	66,60	59,60	54,69	50,98	48,03	45,62	43,60	41,86	40,35	39,02

Tabla 4.14- Valores de intensidad de precipitación según frecuencia y duración.
Fuente: Elaboración propia

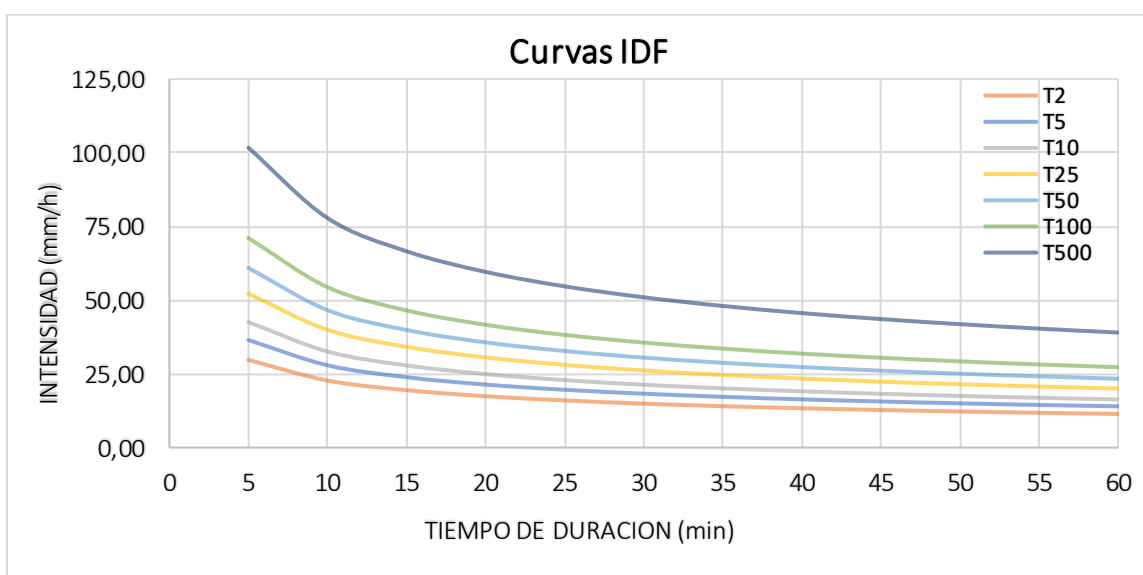


Figura 4.7- Gráfico Curva IDF para Tr: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años; duración 60 min.
Fuente: Elaboración propia

Valores Intensidad de Precipitación								
Duración (horas)	Duración (minutos)	Periodo de Retorno años						
		2	5	10	25	50	100	500
1	60	11,41	13,99	16,32	20,02	23,36	27,26	39,02
2	120	8,73	10,71	12,50	15,32	17,88	20,87	29,87
3	180	7,47	9,16	10,69	13,11	15,29	17,85	25,54
4	240	6,68	8,20	9,56	11,73	13,69	15,97	22,86
5	300	6,13	7,52	8,78	10,76	12,56	14,66	20,98
6	360	5,72	7,01	8,18	10,03	11,71	13,66	19,55
7	420	5,39	6,61	7,71	9,45	11,03	12,87	18,42
8	480	5,12	6,27	7,32	8,98	10,48	12,23	17,50
9	540	4,89	6,00	7,00	8,58	10,01	11,68	16,72
10	600	4,69	5,76	6,72	8,24	9,61	11,22	16,06
11	660	4,52	5,55	6,47	7,94	9,27	10,81	15,48
12	720	4,37	5,37	6,26	7,68	8,96	10,46	14,97
13	780	4,24	5,20	6,07	7,45	8,69	10,14	14,51
14	840	4,12	5,06	5,90	7,24	8,44	9,85	14,10
15	900	4,01	4,92	5,75	7,05	8,22	9,60	13,73
16	960	3,92	4,80	5,60	6,87	8,02	9,36	13,40
17	1020	3,83	4,69	5,47	6,71	7,83	9,14	13,09
18	1080	3,74	4,59	5,36	6,57	7,66	8,94	12,80
19	1140	3,66	4,49	5,24	6,43	7,51	8,76	12,54
20	1200	3,59	4,41	5,14	6,31	7,36	8,59	12,29
21	1260	3,53	4,32	5,05	6,19	7,22	8,43	12,06
22	1320	3,46	4,25	4,96	6,08	7,09	8,28	11,85
23	1380	3,40	4,17	4,87	5,98	6,97	8,14	11,65
24	1440	3,35	4,11	4,79	5,88	6,86	8,00	11,46

Tabla 4.15- Valores de intensidad de precipitación según frecuencia y duración 24 horas.
Fuente: Elaboración propia

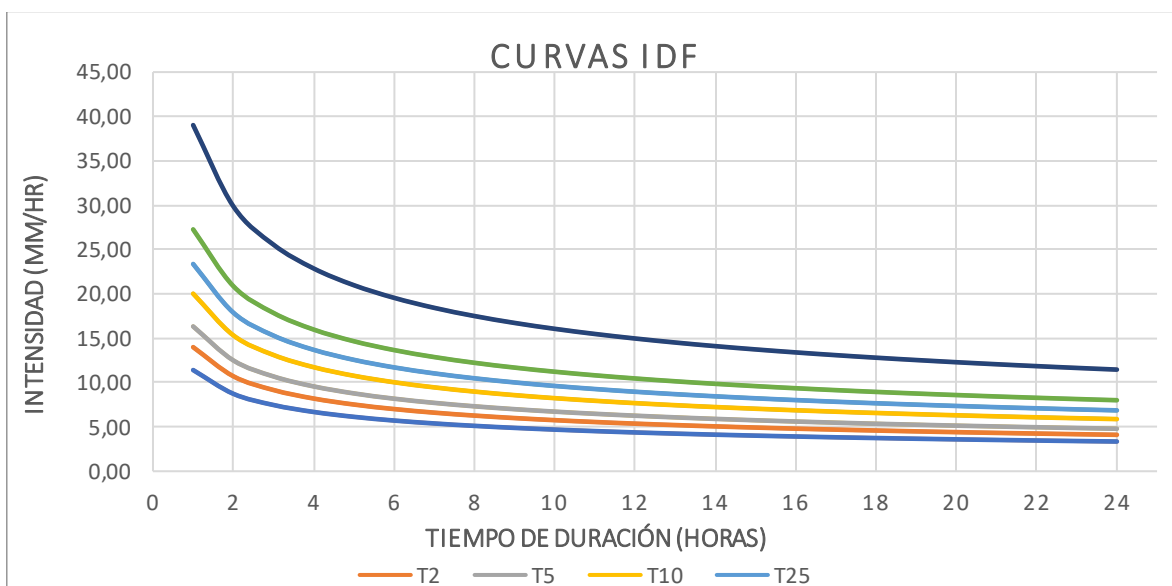


Figura 4.8- Gráfico Curva IDF para Tr: 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 años; duración 24 hrs.
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9 se muestra el histograma de la lluvia de diseño calculada para la comuna de Quintero con un Período de Retorno 10 años y tiempo de duración de 1 hora.

Duración de la precipitación t (min)	Intensidad acumulada (mm/hr)
5	88,94
10	66,50
15	56,47
20	50,37
25	46,12
30	42,93
35	40,42
40	38,36
45	36,64
50	35,16
55	33,88
60	32,75

Tabla 4.16- Cálculo de intensidad acumulada (intervalos de tiempo de 5 min y Tr: 10 años)
Fuente: Elaboración propia

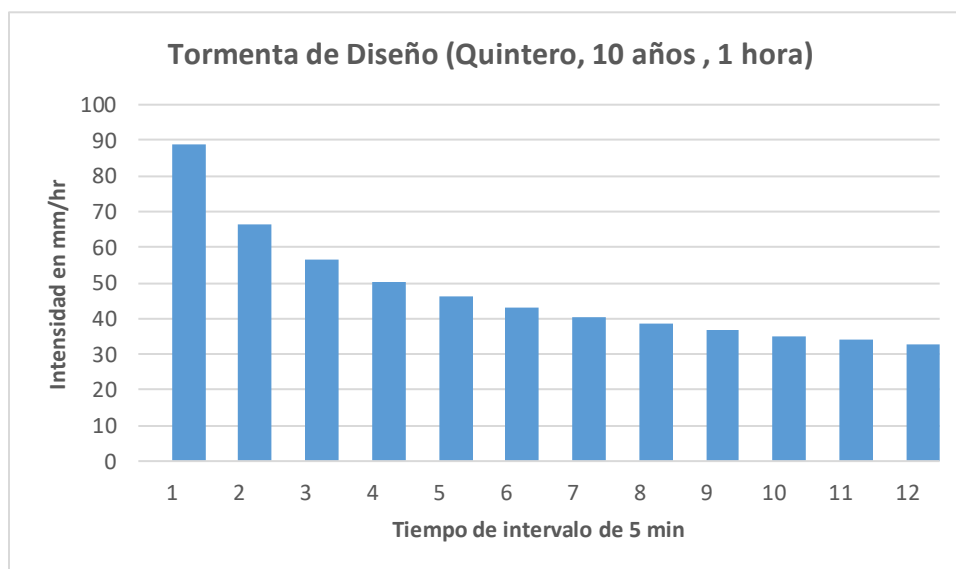


Figura 4.9-Histograma proyectado T=10 años y tiempo de duración 1 hora.
Fuente: Elaboración propia

4.12 Proyección altura de precipitación

Para obtener la altura de precipitación en un período determinado basta reemplazar la fórmula calculada para estimación de intensidad de precipitación, ecuación (23), en la ecuación (24) de altura de precipitación mostradas a continuación:

- a) Ecuación de Intensidad de precipitación ya calculada

$$I = \frac{47.3979 \cdot T^{0.222757}}{t^{0.385622}}$$

- b) Ecuación de altura de precipitación

$$Ih_p = I \cdot \frac{t}{60} \quad (24)$$

Por lo que reemplazando ecuación la ecuación “a” en la fórmula de altura de precipitación “b” se obtiene la siguiente expresión:

$$Ih_p = \frac{47.3979 \cdot T^{0.222757}}{t^{0.385622}} \cdot \frac{t}{60}$$

$$Ih_p = 0.789968 \cdot T^{0.222757} \cdot t^{0.614378} \quad (25)$$

Con la ecuación resultante podemos calcular la altura de precipitación en función del tiempo (min) de duración para un determinado periodo de retorno (T), a continuación, se representa lo mencionado en la ecuación (26) para un periodo de retorno T=10 años y diferentes alturas de precipitación proyectadas en intervalos de tiempo de duración, reflejados en la Tabla 1.26:

$$Ih_p = 0.789965 \cdot 10^{0.222757} \cdot t^{0.614378}$$

$$Ih_{p(10)} = 1.3193647 \cdot t^{0.614378} \quad (26)$$

Periodo de Retorno T=10 años	
Altura de Precipitación (mm)	Tiempo de Duración (min)
hp	t
3,55	5
5,43	10
6,97	15
8,31	20
9,53	25
10,66	30
11,72	35
12,72	40
13,68	45
14,59	50
15,47	55
16,32	60

Tabla 4.17- Cálculo de alturas de precipitación en 60 min con un Período de Retorno de 10 años.

Fuente: Elaboración propia

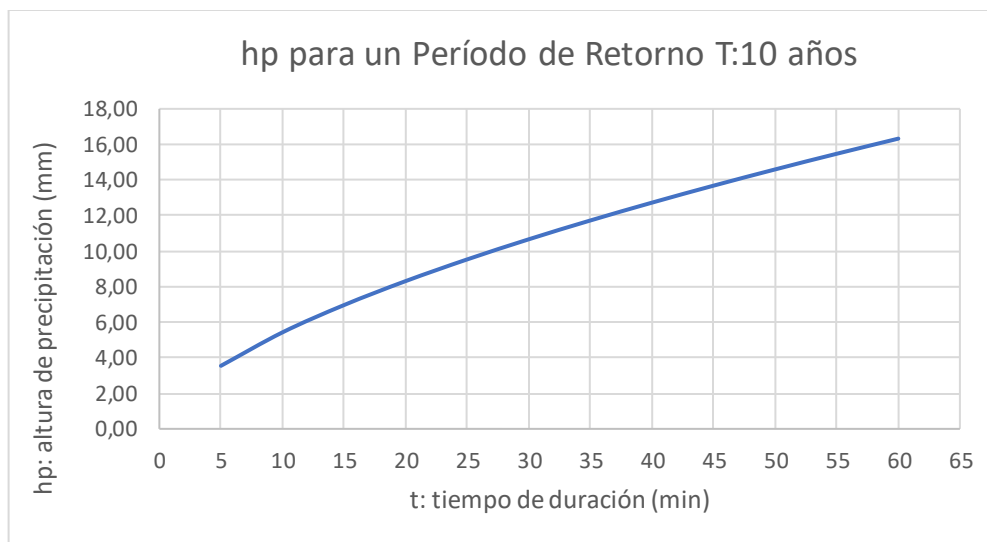


Figura 4.10- Gráfico alturas de precipitación para un periodo de 10 años y duración 60 minutos.

Fuente: Elaboración propia

5. Caudal aportante

5.1 Método Racional

Al momento de calcular el caudal de diseño para una obra de drenaje existen varios procedimientos alternativos tanto directo como indirecto que pueden emplearse, estos dependen de la situación a analizar, la información hidrológica disponible y las características del sector.

El método racional propuesto por Mulvaney en 1850, es ampliamente usado desde mediados del siglo XIX y tiene la ventaja de ser aparentemente muy simple, ya que expresa que el caudal máximo es proporcional a la lluvia caída en el área multiplicada por un coeficiente que se denomina coeficiente de escurrimiento (Manual de Drenaje Urbano , 2013). Es apropiado para ser usado en áreas pequeñas inferiores a 50 ha de características homogéneas, preferentemente impermeables y con un tiempo de concentración menor a 1 hora.

Este método menciona que el caudal aportante de una zona urbana (cuenca) se calcula utilizando la siguiente ecuación (8):

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

Donde C: Coeficiente de escorrentía, i: Intensidad de precipitación (mm/hr), A: Área de la cuenca (km²), Q: Caudal de diseño (m³/s).

5.2 Intensidad:

Se utiliza un Periodo de Retorno equivalente a 10 años para una duración t=60 minutos, en donde empleando el modelo matemático inferido con anterioridad se obtiene una intensidad de precipitación de 16,3 mm/hr dato que se utilizará para calcular el caudal de diseño.

METODO RACIONAL			
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			
TIEMPO DE DURACION(t)=		60	minutos
$I = \frac{K * T^a}{t^b}$	k=	47,40	
	a=	0,22	
	b=	0,39	
PERIODO DE RETORNO (T)=		10,00	años
INTENSIDAD (mm/h)=		16,3	mm/h

Figura 5.1- Método Racional: condiciones para cálculo de intensidad.
Fuente: Manual de drenaje urbano DOH, 2013

5.3 Coeficiente de Escorrentía

La relación entre impermeabilidad y escorrentía según se menciona en “*manual de drenaje urbano DOH,2013*” es no lineal y con alta dispersión. Para suelos con un 30% de impermeabilidad el coeficiente de escorrentía puede variar desde 0,15 hasta 0,50, por otra parte, un suelo totalmente permeable adopta valores entre un 0,05 y 0,10 mientras que uno impermeable se ubica entre 0,8 y 0,9.

Ante lo mencionado anteriormente se propone una relación promedio para el coeficiente de escorrentía dada por:

$$C = (8,58 \cdot 10^{-7}) \cdot Imp^3 - (7,80 \cdot 10^{-5}) \cdot Imp^2 + (7,74 \cdot 10^{-3}) \cdot Imp \quad (27)$$

Donde “Imp” es la impermeabilidad en porcentaje de la superficie construida, para la selección del porcentaje de impermeabilización del terreno, a fin de realizar un primer análisis de resultado se utilizó como base de apoyo las recomendaciones del Manual del Usuario de SWMM las cuales dependen del tipo de terreno presente “Tipo C” con zona residencial de tamaño medio de parcela aproximadamente 1000 m², arrojando un valor para el numero de curva de escorrentía (impermeabilización) de 83, el cual fue reemplazado en la ecuación (27),obteniendo un resultado de Coeficiente de Escorrentía preliminar que será comparado con el obtenido vía directa mediante el Método Racional.

$$C = (8,58 \cdot 10^{-7}) \cdot 83^3 - (7,80 \cdot 10^{-5}) \cdot 83^2 + (7,74 \cdot 10^{-3}) \cdot 83$$

$$\boxed{C=0.60}$$

Este cálculo nos da una idea del valor a utilizar, sin embargo, el método racional propone analizar las cuencas o áreas prediales existentes y asignar valores de coeficiente de escorrentía mencionados en el “*Manual de Drenaje Urbano DOH,2013*”.



Figura 5.2- Área de estudio para caudal aportante derivados a Avenida Normandie.

Fuente: Elaboración propia (imagen extraída de Google Earth Pro)

Se identificaron 122 predios, dentro de un área de análisis de 1.42 km² los cuales se clasificaron respecto al tipo de zona y probables vías de escurrimiento en relación a las pendientes de terreno como se aprecia en Figura 1.37 y Figura 1.38 respectivamente.



*Figura 5.3- Dirección escorrentía superficial.
Fuente: Elaboración propia a través de archivo AutoCAD "Cartografía Quintero".*



Figura 5.4- Clasificación de Predios mediante programa EPA SWMM 5.2
Fuente: Elaboración propia.

Se estimó la tipología de zona con respecto al porcentaje de ocupación que tenían los distintos predios de manera visual, otorgándose las descritas a continuación a aquellos cuya ocupación representaba más del 90% del sector analizado, a su vez se calculó el área predial de los mismos (mediante el comando LIST manualmente en software AutoCAD 2021 en base a información topográfica otorgada por SECPLAN Quintero, convirtiendo los resultados obtenidos en hectáreas), sus respectivas pendiente y cotas de curva de nivel superior e inferior a fin de obtener la distancia (m) entre los puntos asignados estos valores detallados se pueden apreciar en el Anexo 2, no obstante se generó a modo de resumen en la Tabla 5.1 la clasificación de zonas aportantes generales y áreas obtenidas para dichos sectores respectivamente.

RESUMEN ÁREAS SEGÚN CLASIFICACIÓN

Tipo Zona	Área Total	
	Hectáreas (ha)	km2
COLEGIO	2,832	0,0246
COMERCIAL	10,084	0,0873
PLAZA	1,216	0,0122
INDUSTRIAL	0,436	0,0044
RESIDENCIAL	112,247	0.9948

Tabla 5.1- Clasificación de áreas por tipo de zona aportantes de caudales hacia Av. Normandie

Fuente: Elaboración propia.

RESUMEN ÁREAS DE ESTUDIO APORTANTE

ÁREA TOTAL APORTANTE DE CAUDAL	1,48	km2
PREDIOS APORTANTES DE CAUDAL	1.12	Km2
CALLES HORMIGONADAS	0,36	km2

Tabla 5.2- Resumen de Áreas aportantes de caudal hacia Av. Normandie

Fuente: Elaboración propia.

Aplicando la zonificación estipulada y los valores máximos para Coeficientes de escorrentía para zonas urbanizadas (MINVU, 2005) se obtuvo lo siguiente:

CLASIFICACION	COEFICIENTE DE ESCORRENTIA "C"	AREA km2 "A"	"C" x "A"
ÁREA RESIDENCIAL (CONDOMINIOS PAREADOS O CONTINUOS)	0,6	0.995	0,597
ZONA COMERCIAL	0,7	0,087	0,061
CALLES HORMIGONADAS	0,95	0,357	0,339
COLEGIO	0,95	0,025	0,023
INDUSTRIAL	0,9	0,004	0,004
PLAZA	0,25	0,012	0,003
TOTAL		1,48	1.03

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA PONDERADO "C"	=	0,69
--	---	------

Tabla 5.3- Cálculo de Coeficiente de Escorrentía Ponderado Total.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo así un coeficiente de escorrentía ponderado de 0,69 muy similar al resultado obtenido mediante la relación promedio: $C=0.60$ (Ecc.27), no obstante, se trabajará con el último resultado obtenido y mayor producto del estudio de la zona.

Área de aporte (km²)	A =	1.48 km²
Coeficiente de escorrentía	C=	0.69
Intensidad Máxima (mm/hr)	I=	16.3 mm/hr

*Tabla 5.4- Resumen de valores obtenidos para emplear en la Ecuación de Método Racional
Fuente: Elaboración propia.*

Vista la Tabla 1.31 se calcula el caudal aportante al cual se recomienda amplificar su valor un 20% a fin de trabajar con holgura:

Q=	4,66	m ³ /s
Q=	4.658,04	lt/s

Por lo tanto, agregando el 20% de holgura se obtiene: $Q \cdot 1.2 = 5,590 \text{ m}^3/\text{seg}$, que será el caudal proyectado total de aporte hacia Avenida Normandie.

Capítulo IV: Implementación SUDS mediante cubo de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón.

6. Propuesta de Solución

La solución propuesta para apoyo al sistema de evacuación de aguas lluvias tiene relación con obras de infiltración implementando cubos de polipropileno y elementos prefabricados de hormigón los cuales captarán el flujo superficial y facilitarán su infiltración a un suelo colindante en terreno natural de la FACH.

La propuesta abarcará el sector sur de Avenida Normandie en los tramos comprendidos desde la intersección calle Vicuña hasta calle Luis Orione para esta obra, al tener relación directa con la capacidad de infiltración del suelo es conveniente disponer de mediciones efectuadas en terreno o antecedentes de obras realizadas en el sector, de pozos de extracción de agua subterránea o de estudios de tipo general efectuados en la zona (MINVU, 2005).

6.1 Selección de Obras

A continuación, se mencionan criterios de elección para la implementación de distintas soluciones de obra mencionados en la “*Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias, MINVU 2005*”, en donde el nivel de napa subterránea de Quintero es mayor a 10 m y clasificación de suelo del área de estudio Tipo A (mayor porcentaje de arenas finas).

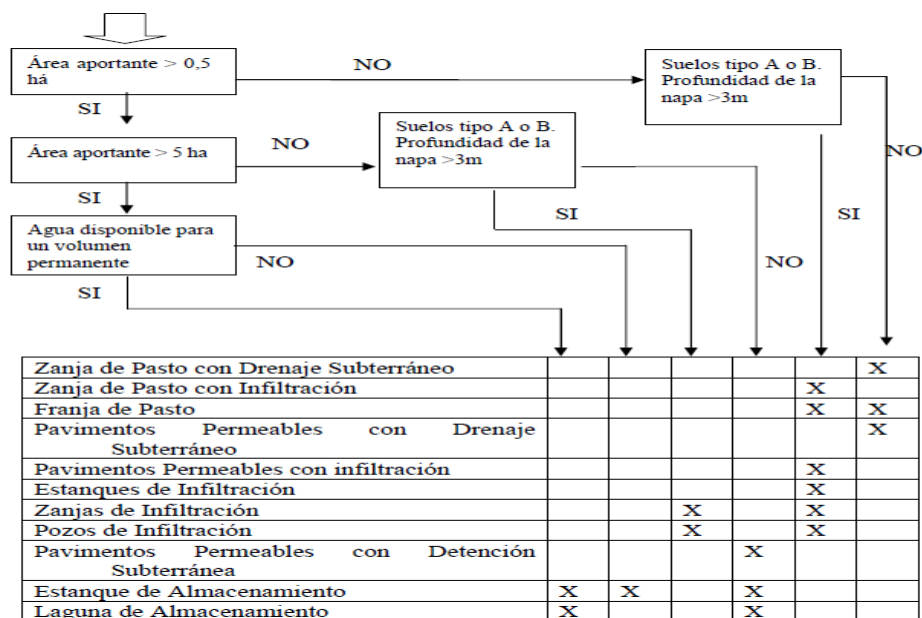


Figura 6.1- Criterios de selección de obras alternativas.

Fuente: Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de aguas lluvias, MINVU 2005

Los suelos tipo A son aquellos con buenas características de infiltración (gravas y arenas limpias). Los suelos tipo B presentan tasas de infiltración moderadas, siendo suelos de textura gruesa con presencia de finos (MINVU, 2005).

6.2 Determinación de zona y puntos críticos

Para la determinación de puntos críticos se levantó información fotográfica en diversos periodos de lluvia (figura 1.5 y Figura 1.6) dando como resultado cinco sectores de reiterados anegamientos y detallados a continuación:

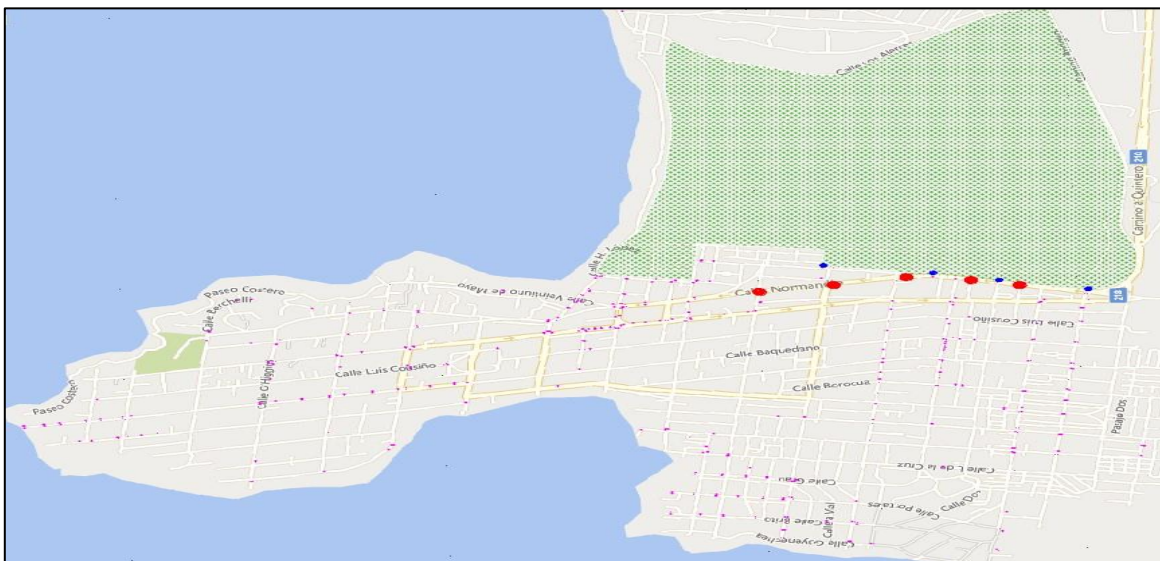


Figura 6.2- Sectorización de elementos pluviales: Colectores afectados (color azul); zonas de anegamiento (color rojo) y sumideros (color magenta).

Fuente: Elaboración propia, extractos de datos Cartografía Quintero

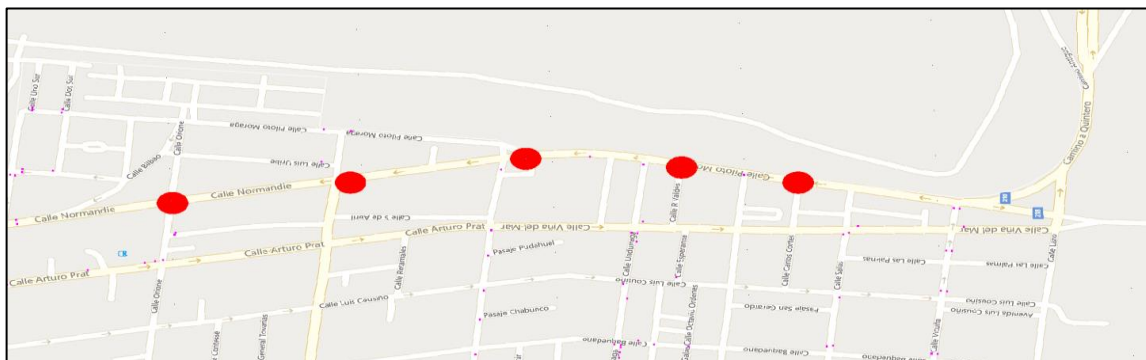


Figura 6.3- Zonas propensas a anegamiento: de derecha a izquierda intersección entre calle: 1) Salas y I.C. Pinto; 2) I.C. Pinto y Undurraga; 3) Ernesto Riquelme; 4) Rep. Argentina; 5) Luis Orione

Fuente: Elaboración propia, ubicación geográfica mapa carretera.

6.3 Ensayo de Infiltración Método Porchet.

Este método consiste en un agujero cilíndrico excavado en el suelo, en el cual se mide el descenso del nivel del agua a través del tiempo. La ecuación de K para este ensayo se basa en considerar un flujo de agua tanto en las paredes como en el fondo del pozo, con lo cual se obtiene la siguiente expresión para K (Montecinos, Montalva, & Vargas, 2008):

$$k = \frac{r}{2 \cdot (t_2 - t_1)} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot h_1 + r}{2 \cdot h_2 + r} \right) \quad (28)$$

En donde K: Permeabilidad; r: radio (cm); t1: tiempo inicial (min); t2: tiempo final (min); h1: altura inicial (cm) y h2: altura final (cm).

Se aplicó el ensayo en dos puntos dentro del perímetro de terrenos de la FACH ya que el acceso está restringido obteniendo los siguientes resultados:

Datos Iniciales

Hi agujero	50
H gravilla	5
H Ensayo (nivelado)	40
φ (diámetro ensayo)	30
radio	15
π	3,14159265

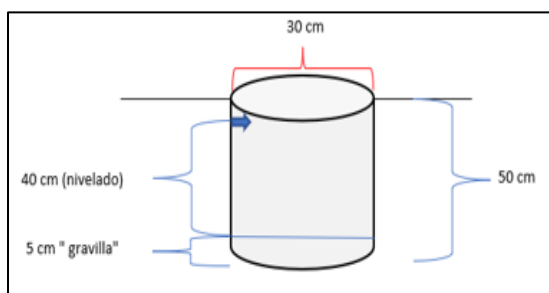


Figura 6.4- Representación medidas utilizadas en Ensayo de Porchet
Fuente: Elaboración propia,

Datos Obtenidos Ensayo N°1: Previa saturación de la calicata de dimensiones (50 cm de profundidad y 15 cm de radio), en donde se rellenó con agua dos veces en un periodo de media hora se obtuvieron registros cada 10 minutos dentro de una hora hasta que la altura final se mantuvo constante.

CÁLCULOS ENSAYO 1

TABLA N° 1

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	0		40	
2		10		20,5

TABLA N° 2

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	10		40	
2		20		22,8

TABLA N° 3

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	20		40	
2		30		24,7

TABLA N° 4

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	30		40	
2		40		25,8

TABLA N° 5

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	40		40	
2		50		26,8

TABLA N° 6

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	50		40	
2		60		26,8

Tabla 6.1- Cálculo de alturas de infiltración en tiempos determinados Ensayo Porchet N°1.

Fuente: Elaboración propia,

Transcurridos 50 minutos la altura final comenzó a estabilizarse y al cabo de una hora el parámetro fue similar al anterior por lo tanto se aplicó la ecuación de Porchet a fin de obtener la constante de Permeabilidad (k) obteniendo el siguiente resultado: **K: 0.2441883 cm/min**

Equivalencias de k=0.2441883 cm/min	
146.5126	mm/hr
$4.06 \cdot 10^{-3}$	cm/seg
$4.06 \cdot 10^{-5}$	m/s

Respecto al valor de k obtenido este se identifica en la tabla de Coeficientes de Permeabilidad (k) de Casagrande obteniendo parámetros de drenaje bueno y posible composición de arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos.

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Bueno						Pobre		Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia	Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificada				Suelos "impermeables", es decir, arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de descomposición			
					Suelos "impermeables", modificados por la vegetación o la descomposición. ^d							
Determinación directa de k	Ensayo directo del suelo "in situ" por ensayos de bombeo. Se requiere mucha experiencia, pero bien realizados son bastante exactos.											
	Permeámetro de carga hidráulica constante. No se requiere mayor experiencia.											
Determinación indirecta de k		Permeámetro de carga hidráulica decreciente. No se requiere mayor experiencia y se obtienen buenos resultados			Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados dudosos. Se requiere mucha experiencia.				Permeámetro de carga hidráulica decreciente. Resultados de regular a bueno. Se requiere mucha experiencia.			
	Por cálculo, partiendo de la curva granulométrica. Sólo aplicable en el caso de arenas y gravas limpias sin cohesión.								Cálculos basados en los ensayos de consolidación. Resultados buenos. Se necesita mucha experiencia			

Figura 6.5- Coeficientes de permeabilidad para distintos suelos.

Fuente: A. Casagrande y R. E. Fadum (1940)

Datos Obtenidos Ensayo N°2: Realizando los procedimientos anteriores se obtiene:

CÁLCULOS ENSAYO

TABLA N° 1

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	0		40	
2		10		19,9

TABLA N° 2

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	10		40	
2		20		22,3

TABLA N° 3

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	20		40	
2		30		24,3

TABLA N° 4

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	30		40	
2		40		26,1

TABLA N° 5

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	40		40	
2		50		27,6

TABLA N° 6

Datos	t1 (min)	t2 (min)	h1 (cm)	h2 (cm)
1	50		40	
2		60		27,6

Tabla 6.2- Cálculo de alturas de infiltración en tiempos determinados Ensayo Porchet N°2.

Fuente: Elaboración propia,

Para estos nuevos parámetros se obtuvo un valor de **K: 0.226896435 cm/min**, lo que al igual que la primera muestra se obtiene un suelo con pobre capacidad de drenaje respecto a la Tabla 1.33

Equivalencias de $k=0.2441883 \text{ cm/min}$	
136.1378613	mm/hr
$3.78 \cdot 10^{-3}$	cm/seg
$3.78 \cdot 10^{-5}$	m/s

A continuación, se representan los gráficos de capacidad de infiltración en mm/h para ambos ensayos de Porchet y porcentajes de agua infiltrada para los diferentes periodos de tiempo:

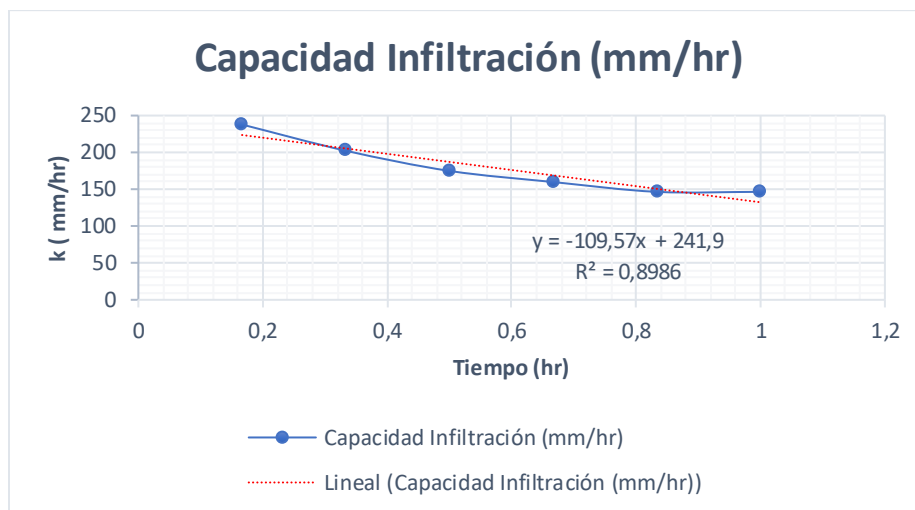


Figura 6.6- Capacidad de infiltración para Ensayo N°1
Fuente: Elaboración Propia

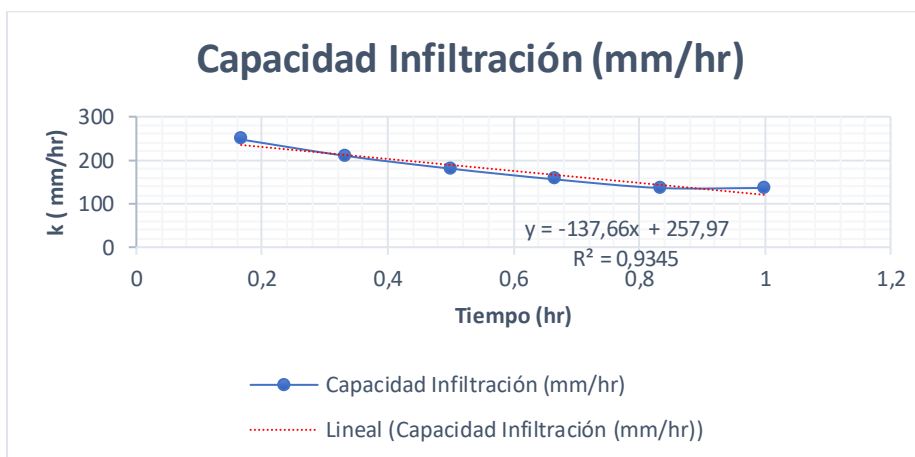


Figura 6.7- Capacidad de infiltración para Ensayo N°2
Fuente: Elaboración Propia

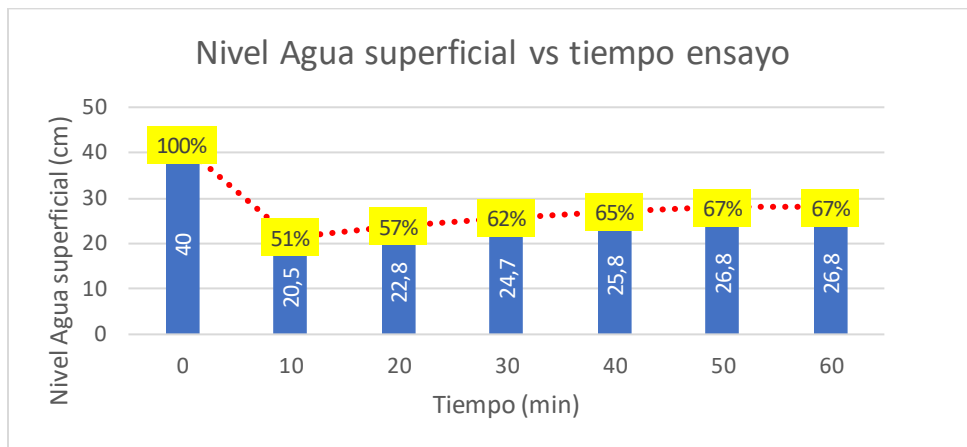


Figura 6.8- Porcentaje de agua infiltrada durante Ensayo N°1
Fuente: Elaboración Propia

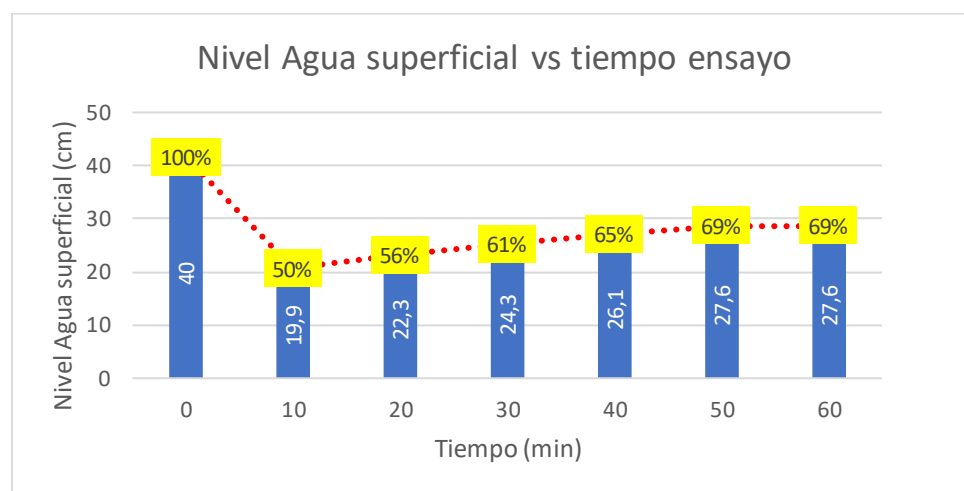


Figura 6.9- Porcentaje de agua infiltrada durante Ensayo N°2
Fuente: Elaboración Propia

Tiempo (min)	Tiempo acumulado (min)	Tiempo (hora)	Tiempo acumulado (hora)	Lectura descenso (cm) Δ nivel agua y punto enrase	velocidad (cm/hr)
2	2	0,03	0,03	9,00	270,00
4	6	0,07	0,10	12,20	183,00
6	12	0,10	0,20	15,10	151,00
8	20	0,13	0,33	18,70	140,25
10	30	0,17	0,50	20,10	120,60
12	42	0,20	0,70	8,30	158,50
14	56	0,23	0,93	11,40	122,57
16	72	0,27	1,20	15,10	93,38
18	90	0,30	1,50	16,80	77,33
20	110	0,33	1,83	17,70	66,90
22	132	0,37	2,20	8,00	87,27
24	156	0,40	2,60	11,80	70,50
26	182	0,43	3,03	13,90	60,23
28	210	0,47	3,50	14,80	54,00
30	240	0,50	4,00	15,70	48,60
32	272	0,53	4,53	6,30	63,19
34	306	0,57	5,10	9,20	54,35
36	342	0,60	5,70	11,00	48,33
38	380	0,63	6,33	13,90	41,21
40	420	0,67	7,00	13,90	39,15
42	462	0,70	7,70	5,40	49,43
44	506	0,73	8,43	10,20	40,64
46	552	0,77	9,20	13,20	34,96
48	600	0,80	10,00	15,40	30,75
50	650	0,83	10,83	12,40	33,12
52	702	0,87	11,70	5,50	39,81
54	756	0,90	12,60	9,70	33,67
56	812	0,93	13,53	13,90	27,96
58	870	0,97	14,50	15,60	25,24
60	930	1,00	15,50	12,40	27,60

Tabla 6.3- Cálculo velocidad de infiltración (cm/hra)
Fuente: Elaboración Propia

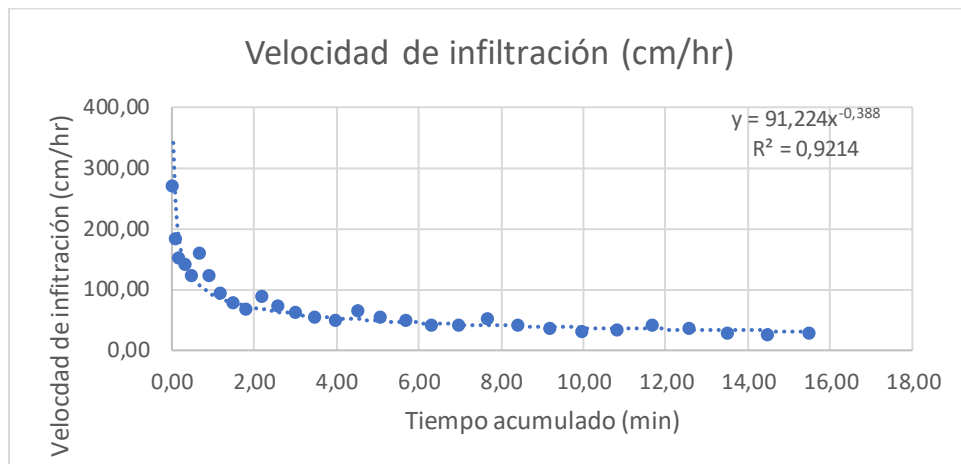


Figura 6.10- Gráfico velocidad de infiltración
 Fuente: Elaboración Propia

6.4 Clasificación Zonal (escorrentía y caudal aportante)

Se dividió el área a analizar en 5 sectores a fin de calcular el coeficiente de escorrentía ponderado por área obteniendo los siguientes valores resumen:



Figura 6.11- Zonificación para análisis de escorrentía superficial y caudales aportantes.
 Fuente: Elaboración Propia

Tr	10 años
Intensidad	16,3 mm/hora
t (duración)	60 min

Clasificación Zona	Área de aporte (km2)	Área total predios (km2)	Calles Hormigonadas (km2)	Coeficiente Escorrentía (C)	Caudal (m3/s)	Q*1,2 (20% de holgura)
Z1	0,45	0,31	0,14	0,70	1,44	1,73
Z2	0,15	0,11	0,04	0,68	0,46	0,56
Z3	0,20	0,17	0,03	0,67	0,60	0,73
Z4	0,24	0,22	0,02	0,64	0,69	0,83
Z5	0,44	0,30	0,14	0,73	1,46	1,75
Totales	1,48	1,12	0,36	-	4,67	5,60

Tabla 6.4- Zonas de estudio para obtención de Coeficiente de Escorrentía y Caudales por el Método Racional

Fuente: Elaboración Propia

Clasificación Zona	Área de aporte (km2)	Coeficiente Escorrentía (C)	Área Impermeable (km2)
Z1	0,45	0,70	0,32
Z2	0,15	0,68	0,10
Z3	0,20	0,67	0,13
Z4	0,24	0,64	0,15
Z5	0,44	0,73	0,32
Totales	1,48	-	1,03

Tabla 6.5- Área impermeable según coeficiente de escorrentía.

Fuente: Elaboración Propia

Clasificación Zona	Área de aporte (km2)	Área aporte (m2)	Caudal lts/s	Caudal (m3/s)
Z1	0,45	453699	1444,54	1,44
Z2	0,15	150000	464,77	0,46
Z3	0,20	200000	604,74	0,60
Z4	0,24	240000	694,95	0,69
Z5	0,44	440000	1459,08	1,46

Tabla 6.6- Caudales aportantes por zonificación.

Fuente: Elaboración Propia

6.5 Volumen de afluente Acumulado

Para el cálculo de volumen acumulado que se filtrará se recomienda utilizar el periodo de retorno implementado en conjunto con las intensidades medias generadas en 24 horas (registros en lapsus de tiempo cada 5 minutos) las cuales se presentan a continuación:

Periodo T (años)	10
ΔT (minutos)	5
Duración (minutos)	1440

Duración lluvia t(min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación P(mm)	Var. Precipita. ΔP (mm)	Int. Media. (mm/h)	Intensidad acumulada
0	0	0	0	0	0
60	16,32	16,32	0,17	2,01	32,75
120	12,50	24,99	0,13	1,54	25,03
180	10,69	32,06	0,11	1,31	21,40
240	9,56	38,26	0,10	1,18	19,14
300	8,78	43,88	0,09	1,08	17,56
360	8,18	49,08	0,08	1,01	16,37
420	7,71	53,96	0,08	0,95	15,42
480	7,32	58,57	0,07	0,90	14,65
540	7,00	62,96	0,07	0,86	14,00
600	6,72	67,17	0,07	0,83	13,44
660	6,47	71,22	0,07	0,80	12,95
720	6,26	75,14	0,06	0,77	12,53
780	6,07	78,92	0,06	0,75	12,15
840	5,90	82,60	0,06	0,73	11,80
900	5,75	86,18	0,06	0,71	11,49
960	5,60	89,66	0,06	0,69	11,21
1020	5,47	93,06	0,06	0,67	10,95
1080	5,36	96,39	0,05	0,66	10,71
1140	5,24	99,65	0,05	0,64	10,49
1200	5,14	102,84	0,05	0,63	10,29
1260	5,05	105,97	0,05	0,62	10,09
1320	4,96	109,04	0,05	0,61	9,91
1380	4,87	112,06	0,05	0,60	9,75
1440	4,79	115,03	0,05	0,59	9,59

Tabla 6.7- Intensidad media acumulada en 24 horas.

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores de precipitación media obtenidos en la Tabla 1.38 en conjunto con los datos de áreas (m²) y escorrentía estipulados en la Tabla 1.36 se emplea la ecuación (9) descrita con anterioridad para obtener los valores de volumen acumulado para las zonas en estudio los cuales se reflejan a continuación:

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5
Horas	Vol. afl (m3)	Vol. afl (m3)	Vol. afl (m3)	Vol. afl (m3)	Vol. afl (m3)
1	801,3	257,8	335,5	385,5	809,4
2	1224,8	394,1	512,7	589,2	589,2
3	1570,4	505,3	657,4	755,5	755,5
4	1873,5	602,8	784,3	901,3	901,3
5	2148,4	691,2	899,4	1033,6	1033,6
6	2402,8	773,1	1005,9	1156,0	1156,0
7	2641,3	849,8	1105,7	1270,7	1270,7
8	2867,0	922,4	1200,2	1379,3	1379,3
9	3082,0	991,6	1290,2	1482,7	1482,7
10	3288,0	1057,9	1376,5	1581,8	1581,8
11	3486,1	1121,6	1459,4	1677,1	1677,1
12	3677,5	1183,2	1539,5	1769,2	1769,2
13	3862,8	1242,8	1617,1	1858,3	1858,3
14	4042,6	1300,7	1692,4	1944,9	1944,9
15	4217,6	1357,0	1765,6	2029,0	2029,0
16	4388,2	1411,9	1837,0	2111,1	2111,1
17	4554,6	1465,4	1906,7	2191,2	2191,2
18	4717,4	1517,8	1974,9	2269,5	2269,5
19	4876,6	1569,0	2041,5	2346,1	2346,1
20	5032,7	1619,3	2106,9	2421,2	2421,2
21	5185,8	1668,5	2171,0	2494,8	2494,8
22	5336,1	1716,9	2233,9	2567,1	2567,1
23	5483,9	1764,4	2295,7	2638,2	2638,2
24	5629,1	1811,1	2356,5	2708,1	2708,1

Tabla 6.8- Volumen Afluyente por zonificación.

Fuente: Elaboración Propia

A fin de poder obtener el volumen infiltrado es necesario obtener el área percolada de las zanjas proyectadas mediante la ecuación (11), para esto es necesario contar con las dimensiones de estas reflejadas a continuación y estimadas por el volumen de afluente requerido en 1 hora en conjunto con los límites del terreno a emplazar:

Clasificación Zona	Volumen afluente (m3)	Alto (h)	Largo (l)	Ancho (b)	Área de Percolación (m2)
Z1	800,42	3,0	53,0	5	480,5
Z2	257,53	3,0	17,0	5	174,5
Z3	335,08	3,0	22,0	5	217
Z4	385,07	3,0	26,0	4,9	249,1
Z5	808,47	6,0	15,0	9	355,5

*Tabla 6.9- Dimensiones zanjas y Área de percolación (m2)
Fuente: Elaboración Propia*

6.6 Volumen Infiltrado

Se tiene registro en la tabla 1.40, el resumen de volúmenes de afluente acumulados (m3) proyectados por zonificación en el transcurso de 1 hora para un periodo de retorno de 10 años, momento en donde la intensidad de precipitación es mayor, este nos permite proyectar los volúmenes de zanja posibles para la instalación de cubos dren para captación de aguas lluvias, se puede apreciar también que el Q efectivo para Z2 es el menor de los 5 por lo que en ese punto se optará por la instalación de sumidero tipo S-2 que conecte a cubo dren emplazado en Z3, quedando Z1,Z3,Z4 y Z5 como proyecciones para instalación de sistema de drenaje mediante cubo de polipropileno.

Clasificación Zona	Volumen afluente (m3)	Área Percolada (área zanja) (m2)	Q Método. Racional (m3/s)	Q Estimación sumidero (m3/s)	Q Efectivo (m3/s)
Z1	800,42	480,5	1,44	0,45	0,99
Z2	257,53	174,5	0,46	0,45	0,01
Z3	335,08	217	0,60	0,45	0,15
Z4	385,07	249,1	0,69	0,45	0,24
Z5	808,47	355,5	1,46	0,45	1,01

*Tabla 6.10- Resumen volumen afluente para t: 1hr y Q calculados por zonificación
Fuente: Elaboración Propia*

Como bien se señaló en la ecuación (10) y se mencionó en el párrafo anterior para obtener el volumen real infiltrado por el suelo a utilizar se tomará la lluvia de diseño generada con $T_r=10$ años; la capacidad de infiltración (f) del suelo en condiciones de saturación (mm/hr) registrada en los ensayos de **Porchet en las Tablas 1.32 y 1.33**, se escogerá el menor valor a fin de estudiar el fenómeno en condiciones desfavorables siendo **f : 136.13 mm/hr** y un factor de seguridad (**C_s**): **0.75** como se evidencia **en la Figura 1.11** y el área de percolación estimada para las zonas mencionadas, por espacio de instalación en el sector Z2 se optará por un sumidero que transporte ese caudal hacia la Z3.

Clasificación Zona	Tasa de Infiltración (cm/h)	Volumen Infiltración (m3)
Z1	91,2	49,1
Z2	91,2	17,8
Z3	91,2	22,2
Z4	91,2	25,4
Z5	91,2	36,3

*Tabla 6.11- Parámetros de Infiltración por zona: Tasa (cm/h) y Volumen (m3).
Fuente: Elaboración Propia*

6.7 Volumen de almacenamiento

Para proyectar el volumen de almacenamiento que necesita la zanja se obtiene como la máxima diferencia entre el Volumen afluente (m3) y el Volumen de Infiltración(m3)

Clasificación Zona	Volumen afluente (m3)	Volumen Infiltración (m3)	Volumen Almacenamiento(m3)
Z1	800,42	49,1	752,3
Z2	257,53	17,8	240,0
Z3	335,08	22,2	313,3
Z4	385,07	25,4	360,1
Z5	808,47	36,3	773,1

*Tabla 6.12- Volúmenes (afluente, infiltración y almacenamiento proyectado)
Fuente: Elaboración Propia*

Para mejorar la estabilidad de la zanja se consideran rellenos caja de polipropileno, por lo que la porosidad de este material debe ir incluida en la ecuación (13), este índice es equivalente a $p=0,9$ para cubo dren y $p=0,3$ si se emplean bolones. A continuación, se representan los valores de almacenamiento capaces de retener con las características de dimensionamiento estipuladas:

Clasificación Zona	Alto (m)	Largo (m)	Ancho (m)	V.alm (m3)	V.alm (m3) $p=0.9$ (cubo dren)	V.alm (m3) $p=0.3$ (bolón)
Z1	3,0	53,0	5,0	752,3	715,5	238,5
Z2	3,0	17,0	5,0	240,0	229,5	76,5
Z3	3,0	22,0	5,0	313,3	297,0	99,0
Z4	3,0	26,0	4,9	360,1	344,0	114,7
Z5	6,0	15,0	9,0	773,1	729,0	243,0

*Tabla 6.13- Volumen de almacenamiento con rugosidad de material relleno
Fuente: Elaboración Propia*

Como se puede apreciar en la Tabla 1.42 al utilizar cubos de polipropileno (dren) se obtiene un rendimiento de un 33% más de efectividad de retención almacenada en comparación al usar pétreos tipo bolón.

6.8 Emplazamiento

A fin de apoyar el sistema actual de evacuación de aguas lluvias del sector Avenida Normandie en Quintero se identificaron 5 zonas críticas y propensas a inundaciones, de estas y dado el sector se decide por sugerir la instalación en 4 de ellas apoyadas por sumideros en cuneta (Tipo S-2 SERVIU) con sus respectivas cámaras de inspección y decantadoras elaboradas in situ que desvíen el curso de estas hacia el sistema de drenaje propuesto como “RED NUEVA”.

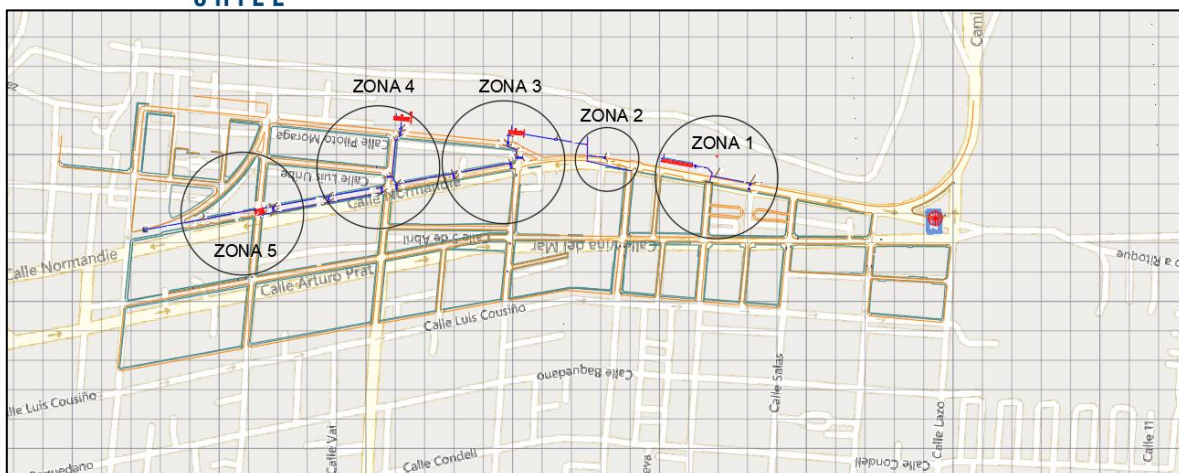


Figura 6.12- Zonificación a intervenir.
 Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentarán los desgloses de elementos por zona establecida con datos de Cota rasante, Cota Terreno y h de desnivel (se rigió en primera instancia por las condiciones mínimas para tubos de colectores de la red secundaria expresados en el “Manual de Diseño de Aguas Lluvias, cap.5 MINVU” que establece tuberías de diámetro mínimo 400 mm luego se ajustó a diámetro 500 mm):

- Zona 1 (Dren 1) : En esta zona se planifica la instalación de un sistema de drenaje “cubo dren” que desvie las aguas recolectadas hacia terreno natural contando además con dos sumideros tipo S-2 (N°1 y N°2), dos cámaras de inspección (N°1 y N°2) y una camara decantadora (N°4).

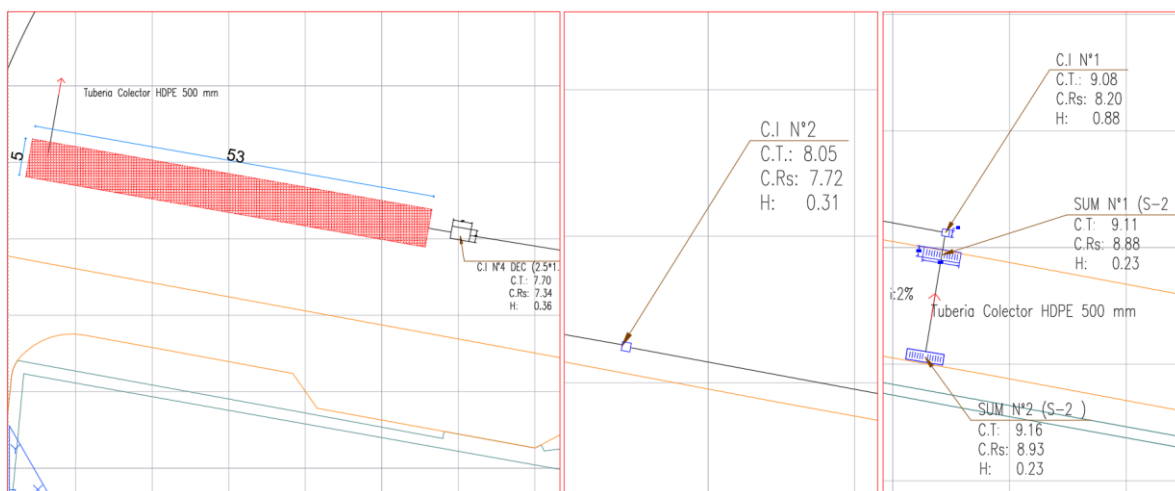


Figura 6.13- Zona 1: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.
 Fuente: Elaboración Propia

- Zona 2 (sumidero apoyo): Para esta zona se dispondrá de un sumidero simple Tipo S.2 (N°3) y una cámara de inspección (N°5) que suministrará el caudal generado hacia el dren de apoyo emplazado en la Zona N°3. Este se empalmara antes al colector existente que evacua aguas lluvias por el interior del terreno natural hasta el mar.

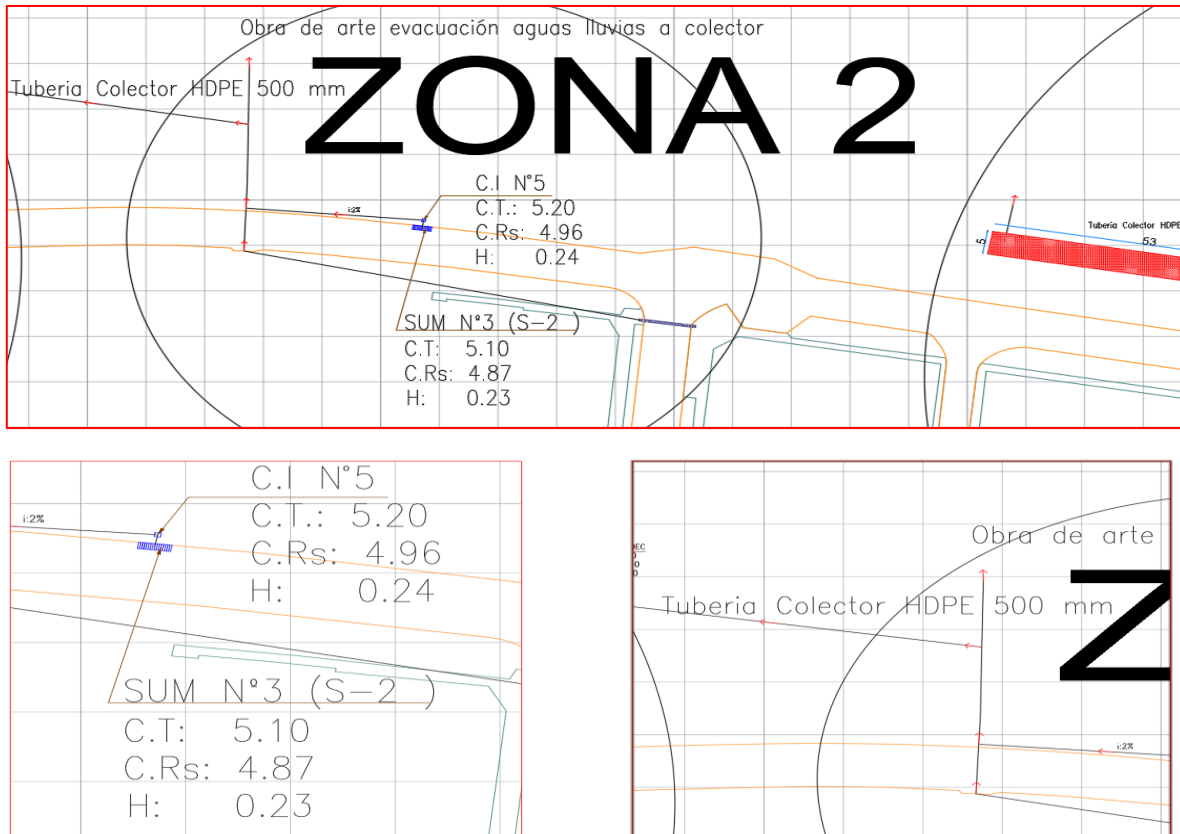


*Figura 6.14- Zona 2: Sumideros y Colectores.
Fuente: Elaboración Propia*

- Zona 3 (Dren 2): Sistema de evacuación de aguas lluvias mediante cubo dren, 8 sumideros y colectores asociados.

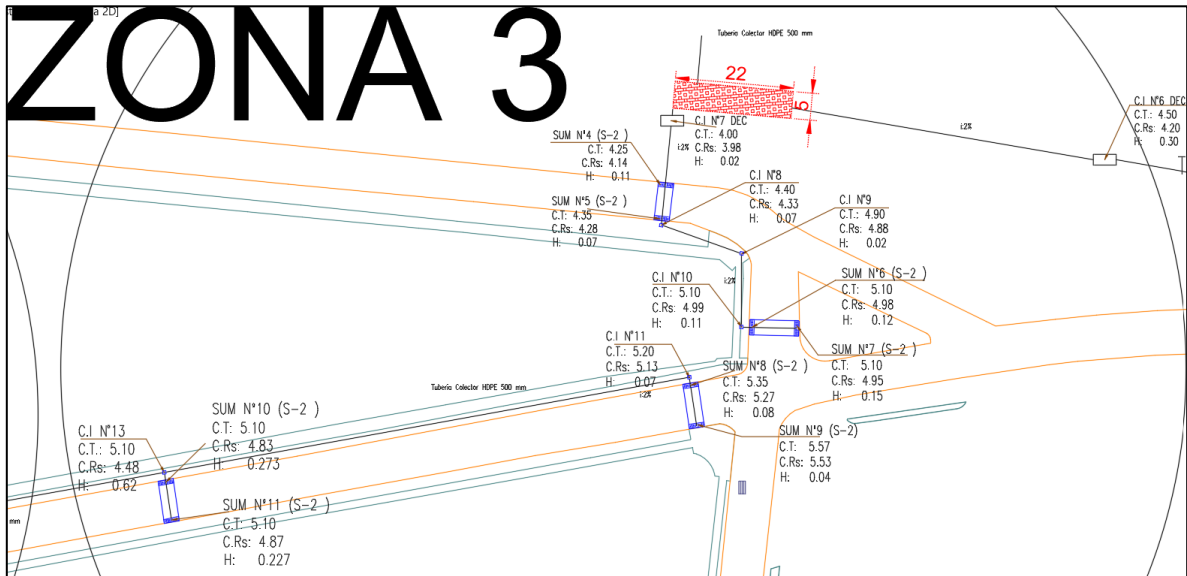


Figura 6.15- Zona 3: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.
Fuente: Elaboración Propia

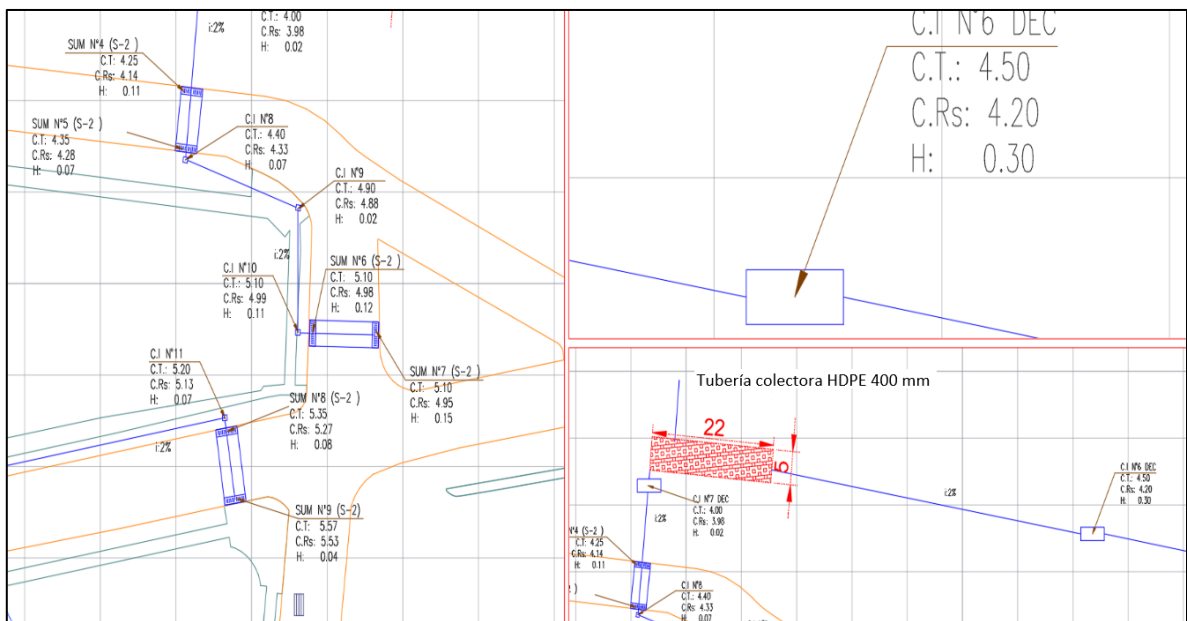


Figura 6.16- Zona 3: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.
Fuente: Elaboración Propia

- Zona 4 (Dren 3): Sistema de evacuación de aguas lluvias mediante cubo dren, 10 sumideros y colectores asociados.

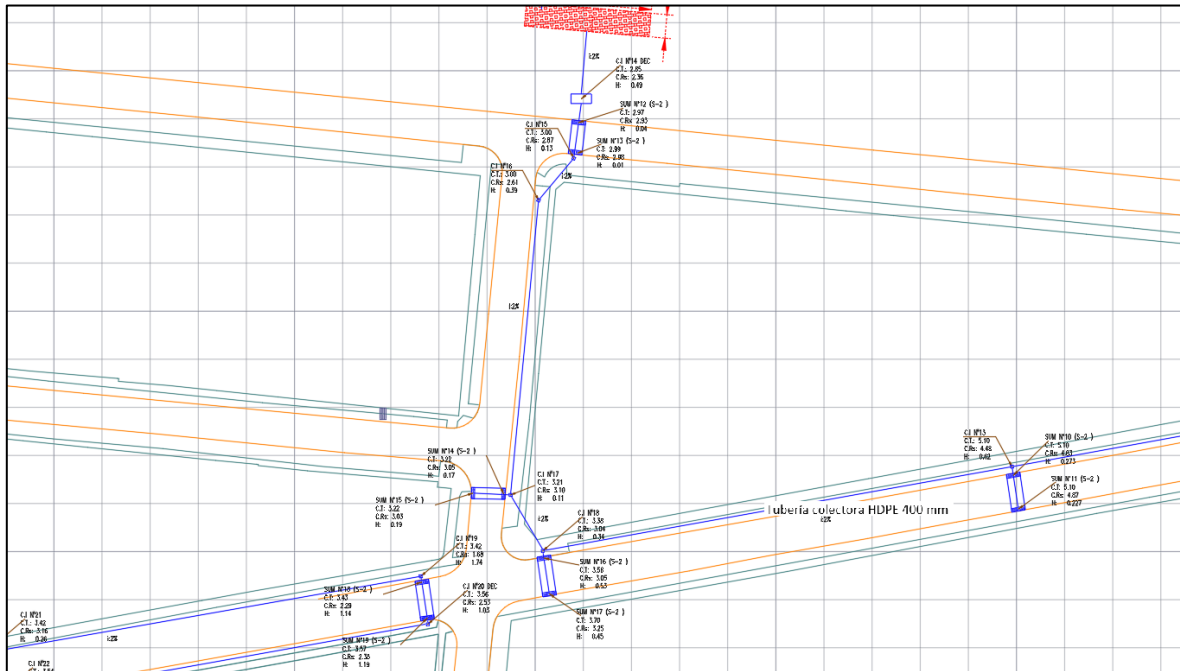


Figura 6.17- Zona 4: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.

Fuente: Elaboración Propia

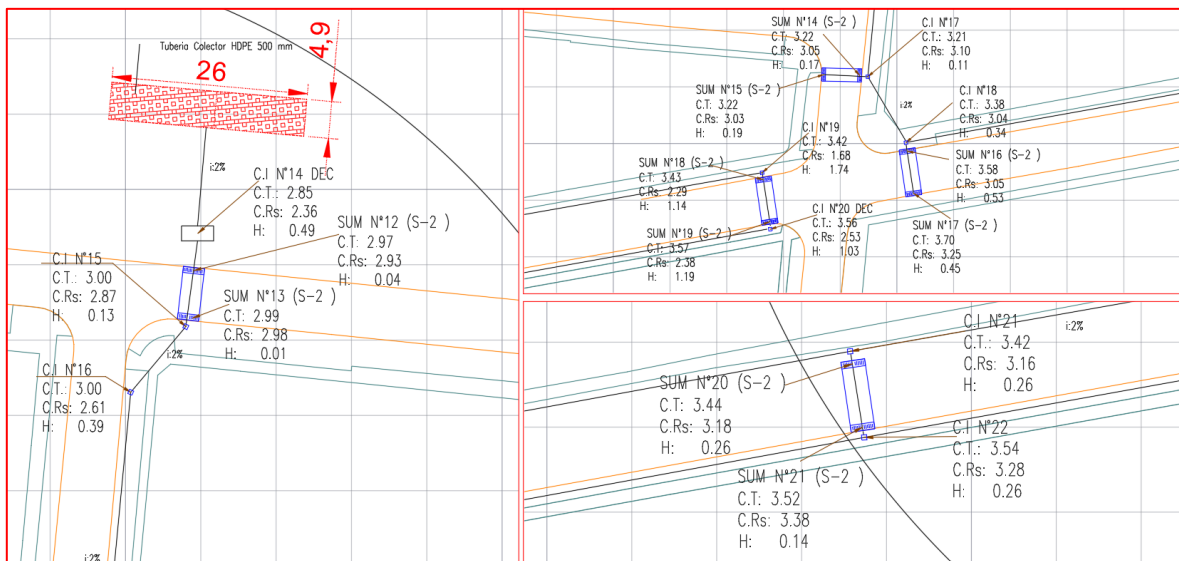


Figura 6.18- Zona 4: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.

Fuente: Elaboración Propia

- Zona 5 (Dren 4): Sistema de evacuación de aguas lluvias mediante cubo dren, 2 sumideros y colectores asociados.

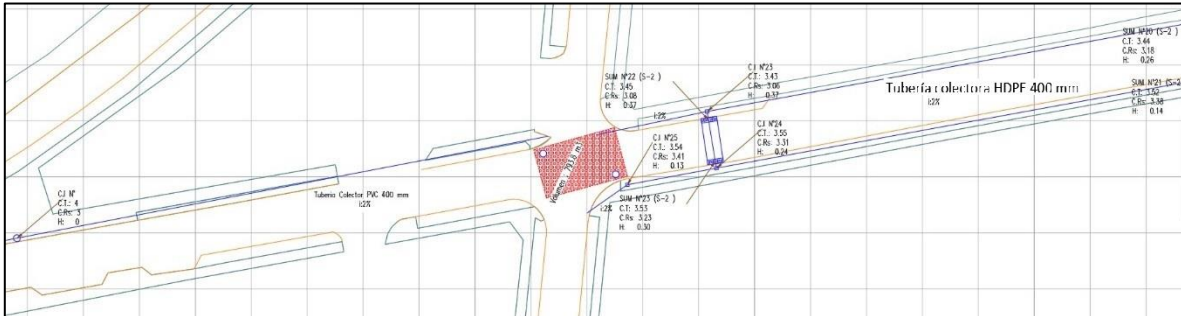


Figura 6.19- Zona 5: Cubo Dren, Sumideros y Colectores.
 Fuente: Elaboración Propia

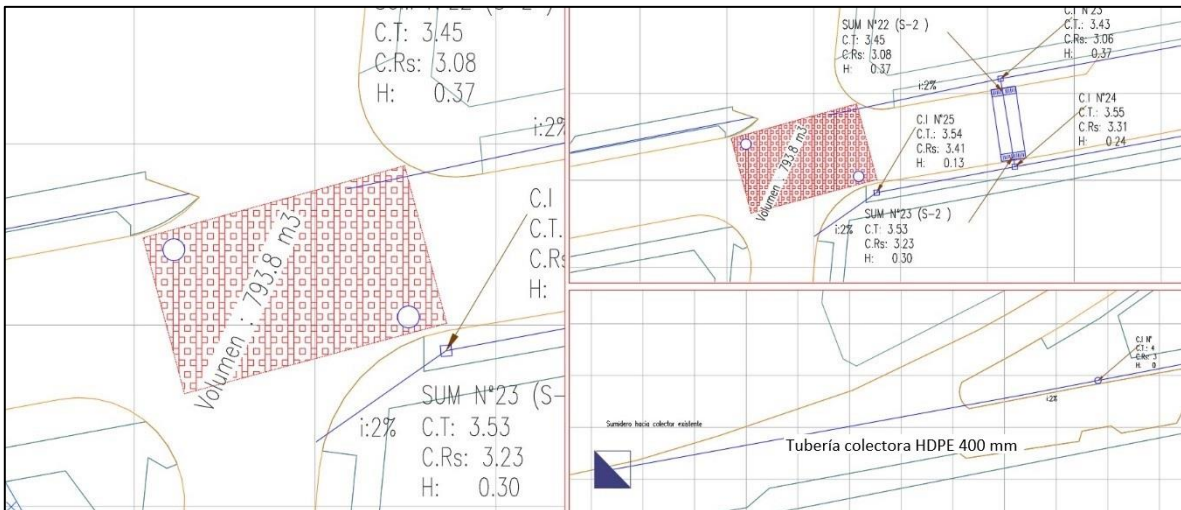


Figura 6.20- Zona 5: Sectorización Cubo Dren, Sumideros y Colectores.
 Fuente: Elaboración Propia

6.9 Dimensiones de Zanjas de infiltración

Se considerará medidas estándar de referencia a fin de generar la zanja dentro del sector delimitado, para dicha elaboración en las cuatro de las cinco zonas designadas para la instalación de cubos dren (Z1, Z3, Z4, Z5):

- Se considerará un sobreancho de talud en su base inferior 20 cm para todas las zonas y en su base superior de 65 para todas las zonas a excepción de la Z5 quien por diseño se generó de 70 cm.
- El relleno estabilizado inferior de gravilla <1” se considerará de un espesor de 20 cm estándar a excepción de la Z5 quien tendrá 50 cm de espesor inferior y 20 cm superior bajo la losa de calzada. El relleno comprenderá el mismo material excavado “arena” y los datos mencionados se expresan a continuación en:

ZONA	Dimensiones (m)	Dimensiones zanja (m)	Dimensiones Dren (m)	Volumen zanja Proyectado (m3)	Volumen Dren (m3)
Z1	Altura	3,3	2,6	1091,8	687,7
	Ancho	6,2	4,9		
	Largo	53,4	53,4		
Z3	Altura	3,3	2,6	457,1	287,9
	Ancho	6,2	4,9		
	Largo	22,3	22,3		
Z4	Altura	3,3	2,6	536,0	337,6
	Ancho	6,2	4,9		
	Largo	26,2	26,2		
Z5	Altura	7,3	6,3	982,2	818,4
	Ancho	9,1	8,8		
	Largo	14,7	14,7		

Tabla 6.14- Dimensiones proyectadas de zanjas por zona (Zona 2 excluida)
Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño de las excavaciones (Figura 1.49) se expresan las dimensiones de las zanjas y sus respectivos cubos dren en las Z1, Z3 y Z4, estas evacuarán el caudal hacia terreno natural de manera directa. Se mantendrán mismas alturas y anchos de zanja no obstante la longitud de estos variará dependiendo el terreno en donde se proyecta emplazarlas quedando de la siguiente manera:

- Largo Z1: 53 metros.
- Largo Z3: 22 metros.
- Largo Z4 :26 metros.

Respecto al diseño presentado en la figura 1.59 de instalación de cubos dren específicamente en la Zona 5 donde se construirá bajo la calzada vehicular se optará por la implementación de captador de calzada directo mediante elemento “vario” de 500 mm de diámetro. Este permitirá trasladar con mayor rapidez el agua superficial hacia dentro del conducto. En la Figura 1.6 y Figura 1.7 se identifican a modo de representación los diversos tipos existentes en el mercado:

Artículo No	Tipos
371010	
371011	
371012	
371013	
371014	
371015	
371016	
371017	
371018	
371019	
371020	
371021	
371022	
371023	
371024	
371025	
371026	
371027	
371028	
371029	
371030	
371031	
371032	
371033	
371034	
371035	

Figura 6.23- Imagen Referencial Tipos de Captadores de calzada.
Fuente: Graf. Revit Families

Vario 800 0.5-legg	450000	
Vario 800 1-legg	450001	
Vario 800 Resepilato	920189	
Vario 800 Cover	920190	
Vario 800 flex type 1	450050	
Vario 800 flex type 2	450051	

Figura 6.24- Imagen Referencial Tipos de “vario” cubo captador de agua lluvia directa
Fuente: Graf. Revit Families

6.10 Elementos y Costos de instalación

Se considerarán los costos de los materiales para la instalación total en los cinco puntos de la obra de infiltración representando los costos para la instalación para las siguientes actividades:

- Costo de excavación.
- Base estabilizada de gravilla.
- Relleno mediante cubo de polipropileno.

Para el cubo dren se utilizó los valores de mercado para la marca Insytec, además del geotextil de recubrimiento, arena limpia para el relleno y compactación, los detalles importantes del modelo elegido se muestran en la Tabla 1.46 a continuación:

Datos Cubo Dren Insytec

Volumen cubo dren (m3)	0,13
% permeabilidad	93%
Rendimiento 1 m3	8
Precio Unitario 1 cubo dren	\$ 7.000

Tabla 6.15- Cubo dren Insytec características

Fuente: Elaboración Propia

A. Sumideros Proyectados:

Se planificó un total de 23 sumideros simples según Tipo S-2 SERVIU donde se transportará el agua superficial captada mediante colector HDPE de 500 mm. A continuación, se muestra el detalle de los sumideros a instalar enumerados de sur a norte de Avenida Normandie, evidenciados desde la **Figura 1.50 hasta la figura 1.57** y en archivo AutoCAD “zonas cubo dren colectores y sumideros”, figuran de izquierda a derecha N° designado, Cota de Terreno, Cota Rasante, Altura Desnivel (corte o relleno), Pendiente, Longitud entre cotas, Cota Superior y Cota Inferior:

Sumideros Resumen (Tipo rejilla S-2) según normativa vigente SERVIU							
N°	C.T (m)	C.R (m)	H	P (%)	L (m)	C.S	C.I
1	9,11	8,88	0,23	1,9	45,7	10	9,11
2	9,16	8,93	0,23	1,9	44,3	10	9,16
3	5,1	4,87	0,23	2,0	45,4	6	5,1
4	4,25	4,14	0,11	2,6	28,6	5	4,25
5	4,35	4,28	0,07	3,0	21,3	5	4,35
6	5,1	4,98	0,12	2,7	33,0	6	5,1
7	5,1	4,95	0,15	2,4	36,9	6	5,1
8	5,35	5,27	0,08	2,8	22,9	6	5,35
9	5,57	5,53	0,04	3,2	13,6	6	5,57

N°	C.T (m)	C.R (m)	H	P (%)	L (m)	C.S	C.I
10	5,1	4,83	0,27	1,2	33,0	6	5,1
11	5,1	4,87	0,23	1,3	30,2	6	5,1
12	2,97	2,93	0,04	1,7	7,6	3	2,97
13	2,99	2,98	0,01	3,5	3,1	3	2,99
14	3,22	3,05	0,17	2,2	36,2	4	3,22
15	3,22	3,03	0,19	2,0	38,9	4	3,22
16	3,58	3,05	0,53	0,9	47,3	4	3,58
17	3,7	3,25	0,45	0,8	36,6	4	3,7
18	3,43	2,29	1,14	0,7	80,6	4	3,43
19	3,57	2,38	1,19	0,6	71,4	4	3,57
20	3,44	3,18	0,26	1,5	38,1	4	3,44
21	3,52	3,38	0,14	1,8	26,1	4	3,52
22	3,45	3,08	0,37	1,2	44,8	4	3,45
23	3,53	3,23	0,30	1,3	37,4	4	3,53

Tabla 6.16- Cálculo sumideros tipo S-2
 Fuente: Elaboración Propia

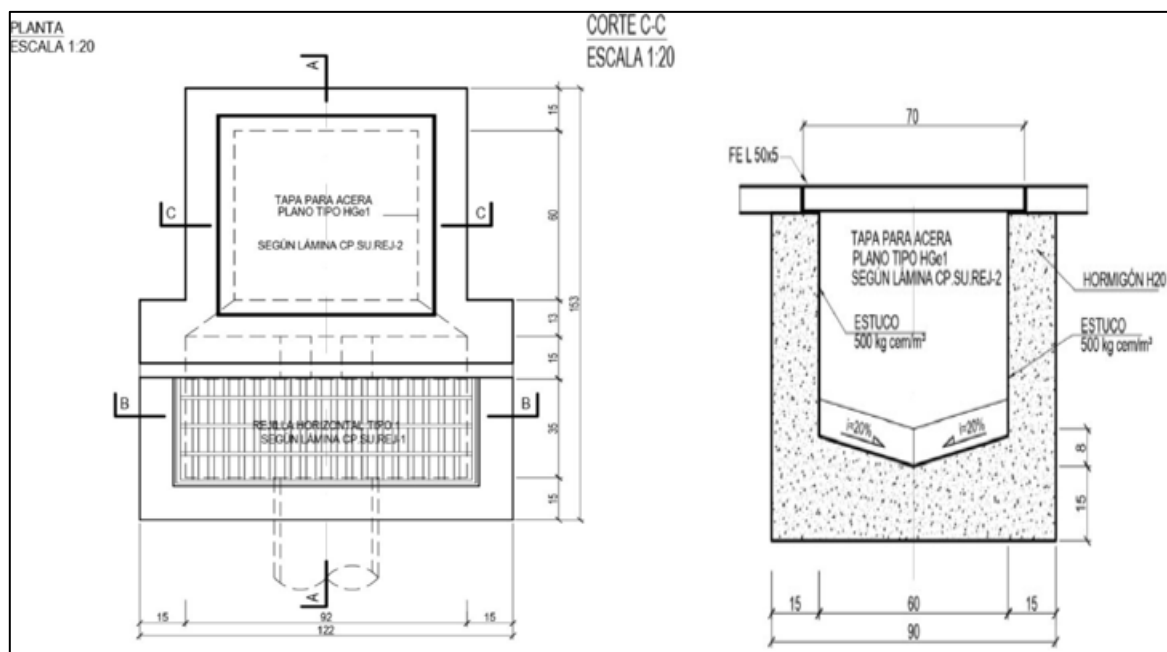


Figura 6.25- Ejemplo Diseño de Sumidero Sendos Tipo S2 implementado.
 Fuente: Manual de Drenaje Urbano, cap. 6 página 369.

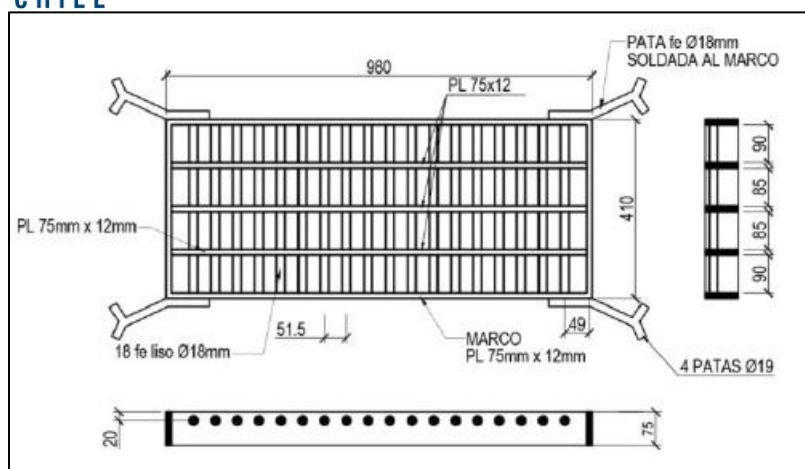


Figura 6.26- Ejemplo Diseño de rejilla horizontal Tipo 1 para sumideros S1 y S2.

Fuente: Manual de Drenaje Urbano, cap. 6 página 373.

B. Cámaras Proyectadas:

Se decide instalar en primera instancia un total de 25 cámaras de inspección tipo B distribuidos de sur a norte a distancias menores a 100 metros y en sectores donde ocurra un cambio de dirección del cauce drenado, en una segunda revisión depurando los sectores se optó por reducir a 23 la totalidad de colectores por lo que aquellos destacados en color plomo se eliminaron del proyecto inicial. A su vez en color celeste se destacan aquellas cámaras que actuarán de decantadoras (medidas L:2.5 m, a:1.5 m y h:1.6 m) y que se ubicarán antes de que llegue el caudal a los cubos dren diseñados, esto fin de eliminar la mayor cantidad de elementos externos arrastrados.

Figuran de izquierda a derecha N° designado, Cota de Terreno, Cota Rasante, Altura Desnivel, Pendiente, Longitud, Cota Superior y Cota Inferior:

N°	C.T (m)	C.R (m)	H	P (%)	L (m)	C.S	C.I
1	9,08	8,20	0,88	1,5	129,6	11	9,08
2	8,03	7,72	0,31	1,78	54,56	9	8,03
3	7,8	7,51	0,29	0,8	24,2	8	7,8
4 DEC	7,7	7,34	0,36	0,9	32,8	8	7,7
5	5,2	4,96	0,24	1,8	44,1	6	5,2
6 DEC	4,5	4,20	0,30	1,3	39,1	5	4,5
7 DEC	4	3,98	0,02	5,0	10,0	4	4
8	4,4	4,33	0,07	3,0	20,1	5	4,4
9	4,9	4,88	0,02	2,1	4,7	5	4,9
10	5,1	4,99	0,11	2,9	31,3	6	5,1
11	5,2	5,13	0,07	3,4	23,3	6	5,2
12	5,6	5,56	0,04	3,2	12,6	6	5,6
13	5,1	4,48	0,62	0,8	49,7	6	5,1

N°	C.T (m)	C.R (m)	H	P (%)	L (m)	C.S	C.I
14 DEC	2,85	2,36	0,49	0,6	27,2	3	2,85
15	3	2,87	0,13	0,9	11,6	3	3
16	3	2,61	0,39	0,5	19,8	3	3
17	3,21	3,10	0,11	2,7	28,9	4	3,21
18	3,38	3,04	0,34	1,3	46,1	4	3,38
19	3,42	1,68	1,74	0,6	100,6	4	3,42
20	3,56	2,53	1,03	0,7	67,2	4	3,56
21	3,42	3,16	0,26	1,5	38,5	4	3,42
22	3,54	3,28	0,26	1,3	34,9	4	3,54
23	3,43	3,06	0,37	1,2	45,8	4	3,43
24	3,55	3,31	0,24	1,4	32,8	4	3,55
25	3,54	3,41	0,13	1,9	24,1	4	3,54

Tabla 6.17- Cámaras proyectadas (inspección y decantadoras)

Fuente: Elaboración Propia



Figura 6.26- Ejemplo de referencia cámara decantadora

Fuente: www.catamar.cl

C. Red de tubería y cálculo de diámetros:

En primera instancia se registrará por las condiciones mínimas para tubos de colectores de la red secundaria expresados en el “Manual de Diseño de Aguas Lluvias, cap.5 MINVU”:

- El diámetro mínimo de los colectores debe ser 400 mm.
- La velocidad máxima de escurrimiento no debe sobrepasar los 4(m/s) para tuberías de mortero comprimido y los 6 (m/s) para tuberías de PVC o similares.
- La velocidad mínima de escurrimiento no debe ser menor a 0.9 (m/s) para las condiciones de diseño.

Para la instalación de red de tuberías se trabajará con tuberías Tipo “Corrugada- Estructural de material HDPE-PEAD (polietileno alta densidad) cuyo formato de venta es en tiras de 6 metros de largo y diámetros nominales (medidas) que varían desde DN 63 a DN 3000.

- **Ventajas:** Tubería liviana de fácil manipulación, pared interna lisa y exterior corrugada, excelente resistencia a la corrección y abrasión, vida útil superior a 50 años, alta rigidez anular pero flexible en caso de movimientos de tierras, su sistema de unión es de tipo campana espiga integrado en la tubería.
- **Usos:** Colectores de aguas lluvia, drenaje subsuperficial, drenaje transversal de caminos, colectores de alcantarillado, estanques, cámara de inspección entre otros.



Figura 6.27- Ejemplo Tubería corrugada HDPE (NCh 2465)
Fuente: www.iminning.cl “catálogo de tuberías HDPE”.

TUBERIA CORRUGADA DOBLE PARED			
Diametro Comercial	D. Interior	D. Exterior	Peso KG/M
63mm	53,1 mm	63 mm	0,27
110mm	94 mm	110 mm	0,58
160mm	135 mm	160 mm	1,20
200mm	200 mm	233 mm	1,46
250mm	248 mm	291 mm	3,26
300mm	308 mm	367 mm	5,30
375mm	380 mm	448 mm	7,00
400mm	393 mm	456 mm	8,36
450mm	461 mm	539 mm	9,70
500mm	493 mm	572 mm	11,48
600mm	610 mm	705 mm	16,20
800mm	800 mm	910 mm	29,50
1000mm	1000 mm	1140 mm	34,00
1200mm	1201 mm	1369 mm	52,26
1500mm	1526 mm	1650 mm	67,97

Figura 6.28- Cuadro de detalle Tuberías Corrugadas.
Fuente: www.iminning.cl “catálogo de tuberías HDPE”.

Para conocer el diámetro de la tubería óptima a utilizar en el proyecto se analizó el caudal efectivo contabilizando los sumideros existentes (Tabla 1.48), logrando con este valor poder calcular las velocidades de escurrimiento en las distintas zonas:

DATOS CAUDAL Y VOLUMEN
ZONIFICACIONES

Clasificación Zona	Volumen afluente(m3) t:1 hra	Caudal sin colectores (m3/s)	Q efectivo con colectores (m3/s)	Q holgura (20%)
Z1	800,4	1,44	0,72	0,86
Z2	257,5	0,46	0,42	0,50
Z3	335,1	0,60	0,33	0,40
Z4	385,1	0,69	0,47	0,56
Z5	808,5	1,46	1,01	1,21

Tabla 6.18- Q(m3/s) efectivos en puntos críticos de zonas
Fuente: Elaboración Propia

Con los valores obtenidos en la Tabla 1.48 se procede a calcular las velocidades máximas de escorrentía (m/s) generadas en los puntos en estudio las cuales no deberían sobrepasar el 80% de la capacidad máxima de la tubería analizada. Se comenzó el estudio para una tubería colectora corrugada HDPE de 400 mm valor mínimo que indica el Manual de Diseño de Aguas Lluvias, MINVU, obteniendo los siguientes valores:

Para tubería corrugada HDPE 400 mm y llenado del 80% cap.
Max.

Clasificación Zona	Q efectivo con colectores (m3/s)	Velocidad de escurrimiento (m/s)	
Z1	0,72	6,7	no cumple
Z2	0,42	3,9	cumple
Z3	0,33	3,1	cumple
Z4	0,47	4,4	cumple
Z5	1,01	9,4	no cumple

Tabla 6.19- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 400mm
Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos evidencian que para las zonas Z1 (dren 1) y Z5 (dren 4) se sobrepasaría el límite máximo establecido de velocidad de escurrimiento 6m/s por lo que se recomienda usar un diámetro mayor.

Se analizó para los valores fuera de norma dimensiones de 450 mm y 500 mm al 80% de capacidad resultando esta última con la totalidad de valores óptimos y reflejados en la Tabla 1.51; dicho lo anterior y a fin de evitar vibraciones interiores se decide implementar para el proyecto **Tubería corrugada HDPE 500 mm:**

Para Tubería HDPE 450 mm y llenado del 80% cap. Max.

Clasificación Zona	Q efectivo con colectores (m3/s)	Velocidad de escurrimiento (m/s)	
Z1	0,72	5,3	cumple
Z2	0,42	3,1	cumple
Z3	0,33	3,1	cumple
Z4	0,47	2,5	cumple
Z5	1,01	7,5	no cumple

Tabla 6.20- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 450mm
Fuente: Elaboración Propia

Para Tubería HDPE 500 mm y llenado del 80% cap. Max.

Clasificación Zona	Q efectivo con colectores (m3/s)	Velocidad de escurrimiento (m/s)	
Z1	0,72	4,3	cumple
Z2	0,42	2,5	cumple
Z3	0,33	2	cumple
Z4	0,47	2,8	cumple
Z5	1,01	6	cumple

Tabla 6.21- Velocidad de escurrimiento con Tubería HDPE 500mm
Fuente: Elaboración Propia

El diseño de la red alternativa de apoyo a evacuación de aguas lluvias contará con 1280,4 ml de cañería (Tabla 6.23) **HDPE 500 mm** obtenidos al proyectar las distancias que transportará el caudal de agua lluvia desde sumideros pasando por cámaras de inspección y decantadoras hasta llegar a los diversos sistemas de almacenamiento mediante cubos dren.

El detalle mencionado anteriormente se presenta en la Tabla 6.22 donde se clasifican los tramos necesarios para el proyecto con la siguiente nomenclatura:

- S. N°: Sumideros proyectados con su respectiva numeración.
 CI. N°: Cámara de Inspección con su respectiva numeración.
 CD. N°: Cámara Decantadora con su respectiva numeración.

Tramo	Inicio	Fin	Longitud
1	S.2	S.1	8,85
2	S.1	CI.1	1,67
3	CI.1	CI.2	61,15
4	CI.2	CD.4	39,64
5	CD.4	DREN 1 ENTRADA + SALIDA	10,46
6	S.3	CI.5	1,7
7	CI.5	CD.6	85,35
8	CD.6	DREN 2 ENTRADA + SALIDA	67,66
9	S.7	S.6	8,6
10	S.6	CI.10	1,96
11	CI.10	CI.9	13,6
12	CI.9	CI.8	15,8
13	CI.8	S.5	1,26
14	S.5	S.4	6,24
15	S.4	CD.7	11,9
16	CD.7	DREN 2 ENTRADA	2,34
17	S.9	S.8	7,5
18	S.8	CI.11	1,53
19	CI.11	C.13	99
20	S.11	S.10	7,1
21	S.10	CI.13	1,8
22	CI.13	CI.18	99
23	S.17	S.16	7,5
24	CI.18	CI.17	13,4
25	S.15	S.14	6,3
26	S.14	CI.17	1,5
27	CI.17	CI.16	71
28	CI.16	CI.15	11,64
29	CI.15	S.13	1,3
30	S.13	S.12	6,2
31	S.12	CD.14	3,94
32	CD.14	DREN 3 ENTRADA + SALIDA	17,6
33	S.19	S.18	39,05
34	CI.20	CI.22	91,7

Tramo	Inicio	Fin	Longitud
35	CI.19	CI.21	99,3
36	S.21	S.20	10,2
37	CI.21	CI.23	99,4
38	CI.22	CI.24	99,34
39	S.23	S.22	10,2
40	CI.23	DREN 4 ENTRADA E.	20,15
41	CI.24	CI.25	19,68
42	CI.25	DREN 4 ENTRADA O.	1,8
43	DREN 4 ENTRADA O.	CI existente	95,13

Tabla 6.22- Longitud de Tuberías HDPE 500 mm
Fuente: Elaboración Propia

Total, metros de tubería HDPE 500 mm	1280.4 m
Cantidad de tuberías a utilizar (6 m de largo)	214 unidades (valor redondeado)

Tabla 6.23- Cantidad de tuberías a utilizar.
Fuente: Elaboración Propia

D. Profundidades de excavaciones:

Considerando una pendiente de diseño del 2% mínima para los trayectos desde sumideros hacia las respectivas cámaras (C.I o C.D) y la posterior conducción de aguas lluvias al sistema de drenaje mediante cubo dren se calculan a continuación las profundidades máximas considerando:

- Para Cámaras de inspección se considerarán de Tipo B, d=1.3mt, prefabricados compuestas de tres elementos: Módulo cono (h=0.6 m), pie derecho (1200 mm x 600 mm) y cámara (600mm x 600mm), se incluirán 20 cm de cama de relleno de hormigón simple para la base de esta) con sus respectivas pasadas para acceso de caudales a Tuberías HDPE 500 mm en su parte inferior.
- Tuberías HDPE diámetro 500 mm: Debido a que las tuberías de HDPE se pueden unir en largos tramos sobre la superficie, basta excavar zanjas angostas que permitan instalarlas, lo que se traduce en una economía en los costos de instalación. Para colocar las tuberías se ejecutarán de acuerdo con los trazados y pendientes calculadas, la profundidad debe permitir instalar la cama de arena, el tubo y el relleno por sobre la tubería, este será de al menos 1,0 metros desde la sección superior del tubo hasta la rasante del terreno. El ancho de excavación corresponderá a el diámetro exterior del tubo más 30 cm a cada lado, en caso de

que las paredes de la zanja estén inestables, se debe de instalar entibaciones, encofrados u otro medio como medida de soporte y de ser el fondo de esta se deberá estabilizar mediante envigado, uso de geotextiles, cama de arena esta última deberá tener como mínimo una altura de 10 cm para el apoyo de los tubos según se estipula en NCh 2282/2. Of 96.

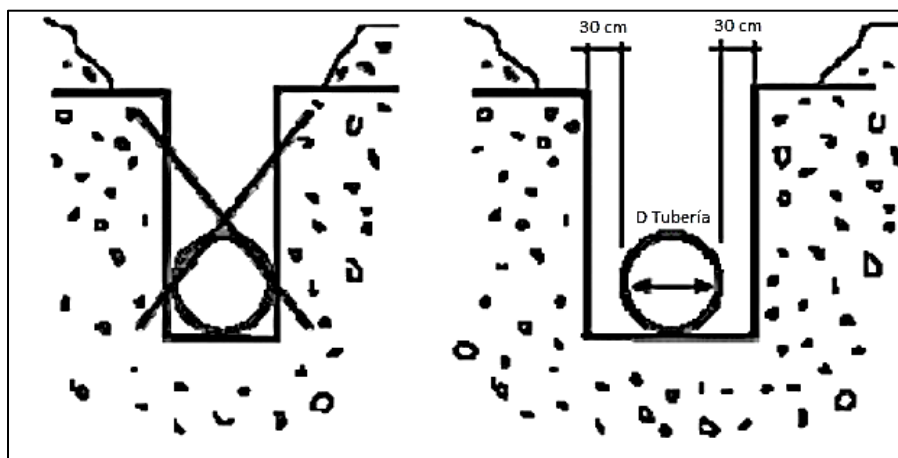


Tabla 6.24- Ejemplo tipo dimensionamiento y espacios de instalación de tuberías
Fuente: imagen extraída web

E. Cubo dren

Se empleará el uso de Cubo de Drenaje Insyttec, Serie 2000 16T, el cual es fabricado con polipropileno de alta densidad de armado rápido y fácil transporte debido a su bajo peso por unidad. Dentro de sus ventajas destacan: Mayor resistencia, posee 80 puntos de unión de armado, resistencia a la compresión 16 T/m², peso por unidad 5,58 Kg, permeabilidad del 93% y con un valor aproximado de mercado de \$7000 la unidad (0.13 m³) utilizando 8 palmetas para cubrir 1 m³.

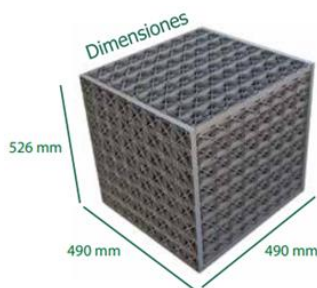




Figura 6.29- Cubo Dren Insytex
Fuente: Ficha-Cubo-Serie-2000-16T, www.insytex.cl

Para los cuatro sectores en donde se empleará el uso de cubo dren para infiltración de aguas lluvias y en relación a las dimensiones del terreno establecido se tiene a consideración las siguientes cantidades:

Con los datos obtenidos anteriormente de dimensionamiento de zanjas se calcula por zonificación la cantidad estimada a comprar obteniendo los siguientes valores y gasto total solo incluyendo la compra de este material (no considerando mano de obra y leyes sociales):

	Dren 1	Dren 2	Dren 3	Dren 4
Total Cubos utilizados	5445	2279	2673	6480
Precio total (\$7000 el cubo dren)	\$ 38.115.124	\$ 15.956.341	\$ 18.710.885	\$ 45.360.000
Gasto Total Compra Cubo dren	\$ 118.142.351			

Figura 6.30- Gasto total compra cubo dren
Fuente: Elaboración Propia

6.11 Presupuesto

Teniendo la información respectiva se genera el siguiente presupuesto para el diseño del proyecto considerando a la fecha de elaboración del presente proyecto UF: \$34.829

PRESUPUESTO OFICIAL DE OBRAS DE PAVIMENTACIÓN Y AGUAS LLUVIA
1UF=34.719

PROYECTO : SOLUCION DE AGUAS LLUVIA SECTOR SUR AVENIDA NORMANDIE
COMUNA : QUINTERO

ITEM	DESIGNACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	P. TOTAL \$
1	OBRAS PREVIAS				\$ 30.835.397
1.1	Cierro Perimetral	ml	62,9	\$ 11.787	\$ 740.920
1.2	Instalación de Faena	gl	1,0	\$ 543.276	\$ 543.276
1.3	Señalética	gl	1,0	\$ 300.000	\$ 300.000
1.4	Limpieza de terreno vegetal	m2	629,1	\$ 44.154	\$ 27.778.353
1.5	Trazado y Replanteo de niveles	gl	1,0	\$ 1.472.847	\$ 1.472.847
2	OBRA GRUESA				\$ 45.776.956
2.1	Remoción de aceras y pavimento vial	m2	143,3	\$ 4.146	\$ 594.039
2.2	Excavación c/ Retiro excedente a botadero	m3	5437,6	\$ 7.375	\$ 40.101.979
2.3	Relleno Estabilizado c/ Compactación	m3	317,2	\$ 3.443	\$ 1.092.136
2.4	Relleno Material Exc c/ Compactación	m3	2294,6	\$ 1.738	\$ 3.988.802
3	OBRAS DE HORMIGÓN				\$ 4.457.038
3.1	Cámara Tipo " B" instalación + tapas	Nº	19,0	\$ 331.023	\$ 6.289.441
3.3	Cámara con decantador instalación + tapas	Nº	4,0	\$ 339.783	\$ 1.359.132
4	SUMIDEROS				\$ 6.333.618
4.1	Sumidero S-1 con rejilla + instalación	Nº	23,0	\$ 275.375	\$ 6.333.618
5	SISTEMA DE INFILTRACION				\$ 273.708.768
5.1	Módulo Cubodren	m3	2131,5	\$ 57.270	\$ 122.071.186
5.2	Geotextil suministro y colocación	m2	2265,0	\$ 3.080	\$ 6.976.766
5.3	Tubería HDPE 500 mm	m	1280,4	\$ 111.481	\$ 142.739.848
6	REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS Y SOLERAS				\$ 63.409.223
6.1	Reposición de pavimento vial y aceras	m2	2263,0	\$ 22.905	\$ 51.835.607
6.2	Reposicion soleras tipo c	ml	1200,0	\$ 9.645	\$ 11.573.616
7	ASEO, ENTREGA Y RECEPCION DE LA OBRA				\$ 4.020.188
7.1	Aseo y entrega Final	gl	1,0	\$ 4.020.188	\$ 4.020.188

Costo directo neto	\$	428.541.188
GG	23%	\$ 98.564.473
Utilidades	7%	\$ 29.997.883
Costo indirecto Neto	\$	128.562.356
Valor total neto	\$	557.103.544
IVA	19%	\$ 105.849.673
TOTAL	\$	662.953.217
TOTAL (UF)		19.035

Figura 6.31 - Presupuesto Proyecto
Fuente: Elaboración Propia

6.12 Comparativa Económica

Considerando la alternativa mas utilizada empleando sistema de bolones para efectuar la infiltración de aguas lluvias se realizó la comparación de costos y eficiencia al implementar ambos métodos a) Drenaje mediante cubos Dren y b) Uso de Bolón.

Estos datos se realizaron teniendo en consideración el % de porosidad para cubo dren :0,9 y bolón :0,3, en conjunto con el caudal de retención necesario en cada sistema de drenaje.

Se menciona además que se calculó en base al desempeño de las zanjas y excavaciones para el proyecto descartándose en los costos totales partidas como obras previas, reposición, aseo y utilidades.

COSTO INSTALACION CON CUBO					
Item	Partida	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
1	MOVIMIENTO DE TIERRA				
1.1	Excavacion zanja + retiro excedent	m3	5438	\$ 7.375	\$ 40.101.979
				Subtotal	\$ 40.101.979
2	SUMINISTRO,TRANSPORTE,COLOCACION Y PRUEBAS				
2.1	Geotextil	m2	2265	\$ 3.080	\$ 6.976.766
2.2	Cubo Insytec	m3	2132	\$ 57.270	\$ 122.071.186
2.3	Arena Gruesa y limpia	m3	2295	\$ 1.738	\$ 3.988.802
2.4	Cañería HDPE D:500 mm	ml	1280	\$ 111.481	\$ 142.739.848
2.5	Estabilizado	m3	317	\$ 3.443	\$ 1.092.136
				Subtotal	\$ 276.868.738
2	OTROS				
2.1	Sumidero tipo S-1	unidad	23	\$ 275.375	\$ 6.333.618
2.2	Caámara de inspección	unidad	19	\$ 331.023	\$ 6.289.441
2.3	Camara decantadora	unidad	4	\$ 339.783	\$ 1.359.132
				subtotal	\$ 13.982.191
2	RESUMEN				
2.1	Subtotal Movimiento Tierra				\$ 40.101.979
2.2	Subtotal Sum,Transporte y colocacion				\$ 276.868.738
2.3	Subtotal otros				\$ 13.982.191
	VALOR TOTAL	\$	330.952.908		
	VALOR TOTAL (UF)		9502,3		

Figura 6.32 – Costos de emplear cubo dren
Fuente: Elaboración Propia

COSTO INSTALACION CON BOLÓN (2" A 6")					
Item	Partida	Unidad	Cantidad	Unitario	Precio Subtotal
1	MOVIMIENTO DE TIERRA				
1.1	Excavacion zanja + retiro exceden	m3	8782	\$ 7.375	\$ 64.768.706
				Subtotal	\$ 64.768.706
2	SUMINISTRO,TRANSPORTE,COLOCACION Y PRUEBAS				
2.1	Geotextil	m2	3723	\$ 3.080	\$ 11.469.106
2.2	Bolones	m3	4721	\$ 57.270	\$ 270.387.676
2.3	Arena Gruesa y limpia	m3	3984	\$ 1.738	\$ 6.924.959
2.4	Cañeria HDPE D:500 mm	ml	1280	\$ 111.481	\$ 142.739.848
2.5	Estabilizado	m3	551	\$ 3.443	\$ 1.896.057
				Subtotal	\$ 433.417.647
2	OTROS				
2.1	Sumidero tipo S-1	unidad	23	\$ 275.375	\$ 6.333.618
2.2	Caámara de inspección	unidad	19	\$ 331.023	\$ 6.289.441
2.3	Camara decantadora	unidad	4	\$ 339.783	\$ 1.359.132
				subtotal	\$ 13.982.191
2	RESUMEN				
2.1	Subtotal Movimiento Tierra				\$ 64.768.706
2.2	Subtotal Sum,Transporte y colocacion				\$ 433.417.647
2.3	Subtotal otros				\$ 13.982.191
	VALOR TOTAL	\$	512.168.544		
	VALOR TOTAL (UF)		14705,4		

Figura 6.32 – Costos de emplear bolón
Fuente: Elaboración Propia

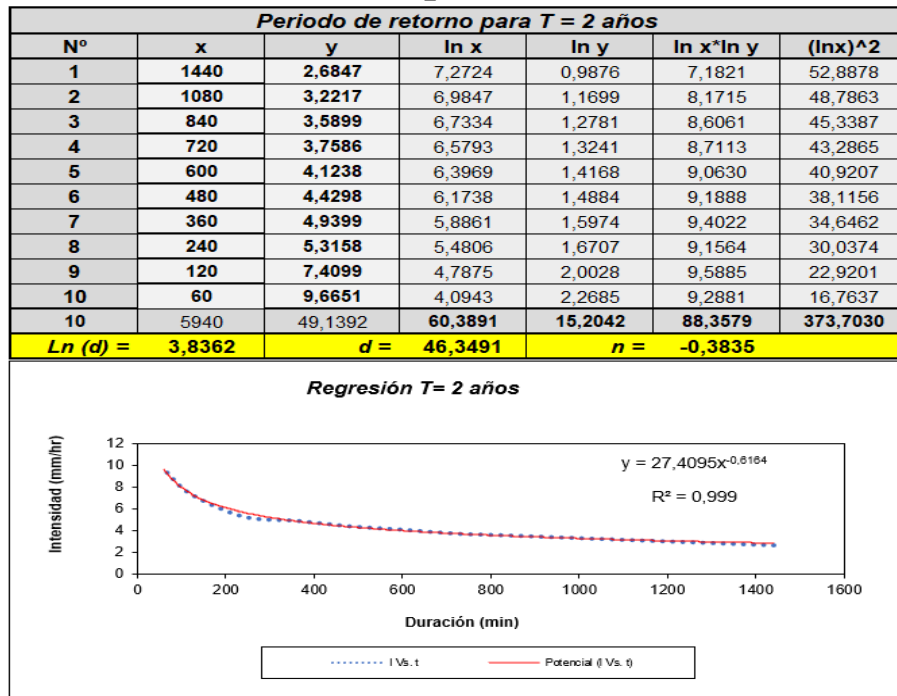
Al realizar los cálculos se pudo apreciar que el uso de bolón para captar el caudal solicitado fue de un 54% mayor que el uso de cubo dren y este último con tiempos de ejecución menores obteniendo un rendimiento de instalación de 55 m³/h empleando tres trabajadores.

Conclusión:

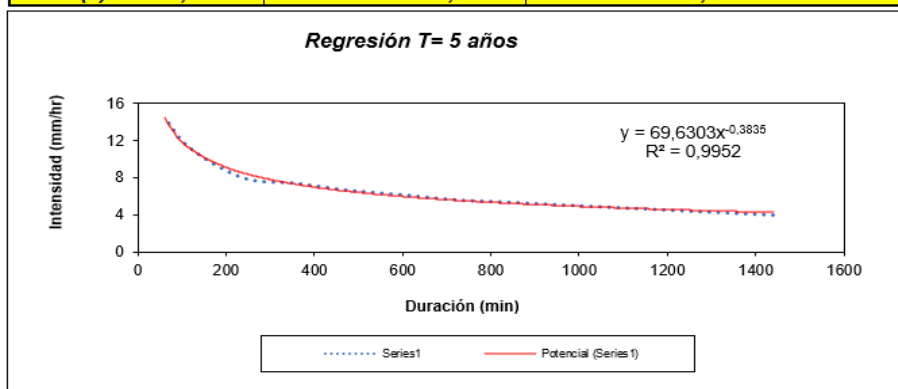
Teniendo en consideración alternativas utilizadas como bolones y red de colectores, más la poca mantención de la red de drenaje pluvial por parte del municipio de Quintero, es viable generar una red de apoyo mediante cubos de polipropileno que derive caudales aportantes hacia terreno natural, no obstante cabe recalcar que el costo del proyecto se vio directamente afectado por las condiciones del terreno donde se quiere evacuar las aguas lluvias este al no contar con buenos índices de absorción (ubicándose en un rango medio bajo) provocó que se deba ocupar mayor volumen para poder retener el caudal calculado sin embargo el amplio tiempo de mantenciones y vida útil (cubos dren 30 años y mantenciones vía sondas) abren la posibilidad de poder ejecutarlo como alternativa.

Anexos

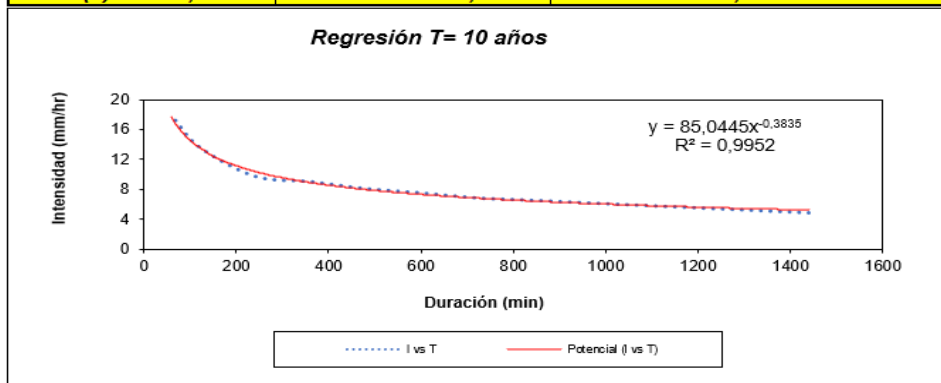
Anexo 1: Periodos de Retorno para T = 2 a 500 años.



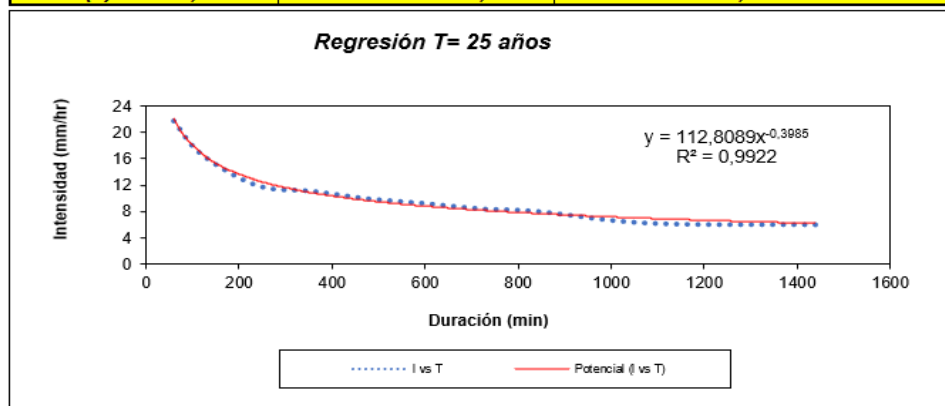
Periodo de retorno para $T = 5$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4,0333	7,2724	1,3946	10,1420	52,8878
2	1080	4,8399	6,9847	1,5769	11,0142	48,7863
3	840	5,3931	6,7334	1,6851	11,3466	45,3387
4	720	5,6466	6,5793	1,7311	11,3890	43,2865
5	600	6,1951	6,3969	1,8238	11,6665	40,9207
6	480	6,6549	6,1738	1,8954	11,7015	38,1156
7	360	7,4213	5,8861	2,0043	11,7978	34,6462
8	240	7,9859	5,4806	2,0777	11,3870	30,0374
9	120	11,1319	4,7875	2,4098	11,5370	22,9201
10	60	14,5198	4,0943	2,6755	10,9545	16,7637
10	5940	73,8219	60,3891	19,2741	112,9361	373,7030
$Ln(d) = 4,2432$		$d = 69,6303$		$n = -0,3835$		



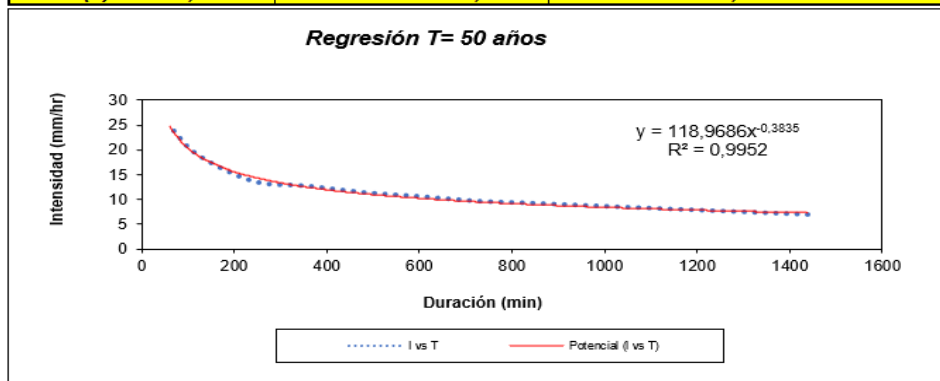
Periodo de retorno para $T = 10$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4,9261	7,2724	1,5946	11,5963	52,8878
2	1080	5,9114	6,9847	1,7769	12,4110	48,7863
3	840	6,5870	6,7334	1,8851	12,6931	45,3387
4	720	6,8966	6,5793	1,9310	12,7047	43,2865
5	600	7,5666	6,3969	2,0237	12,9457	40,9207
6	480	8,1281	6,1738	2,0953	12,9361	38,1156
7	360	9,0641	5,8861	2,2043	12,9749	34,6462
8	240	9,7538	5,4806	2,2777	12,4830	30,0374
9	120	13,5962	4,7875	2,6098	12,4943	22,9201
10	60	17,7341	4,0943	2,8755	11,7732	16,7637
10	5940	90,1639	60,3891	21,2739	125,0123	373,7030
$Ln(d) = 4,4432$		$d = 85,0445$		$n = -0,3835$		



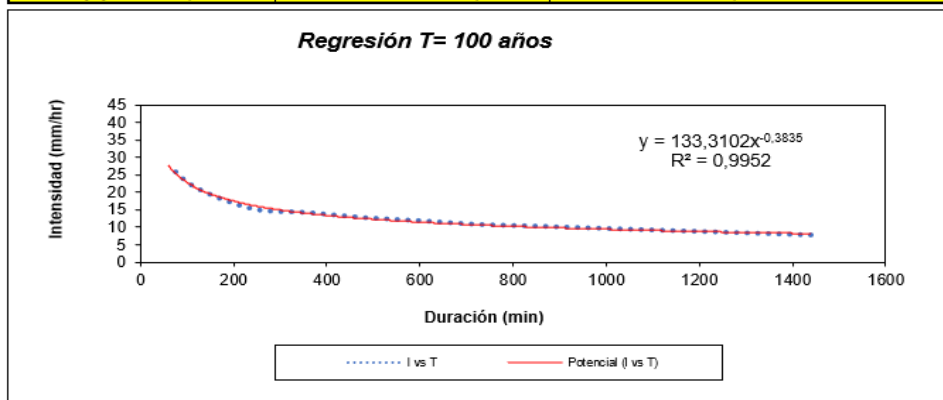
Periodo de retorno para $T = 25$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6,0543	7,2724	1,8008	13,0959	52,8878
2	1080	6,2964	6,9847	1,8400	12,8518	48,7863
3	840	8,0954	6,7334	2,0913	14,0816	45,3387
4	720	8,4760	6,5793	2,1372	14,0614	43,2865
5	600	9,2994	6,3969	2,2299	14,2648	40,9207
6	480	9,9895	6,1738	2,3015	14,2092	38,1156
7	360	11,1399	5,8861	2,4105	14,1886	34,6462
8	240	11,9875	5,4806	2,4839	13,6131	30,0374
9	120	16,7098	4,7875	2,8160	13,4816	22,9201
10	60	21,7954	4,0943	3,0817	12,6175	16,7637
10	5940	109,8435	60,3891	23,1929	136,4655	373,7030
$Ln(d) =$		4,7257	$d =$	112,8089	$n =$	-0,3985



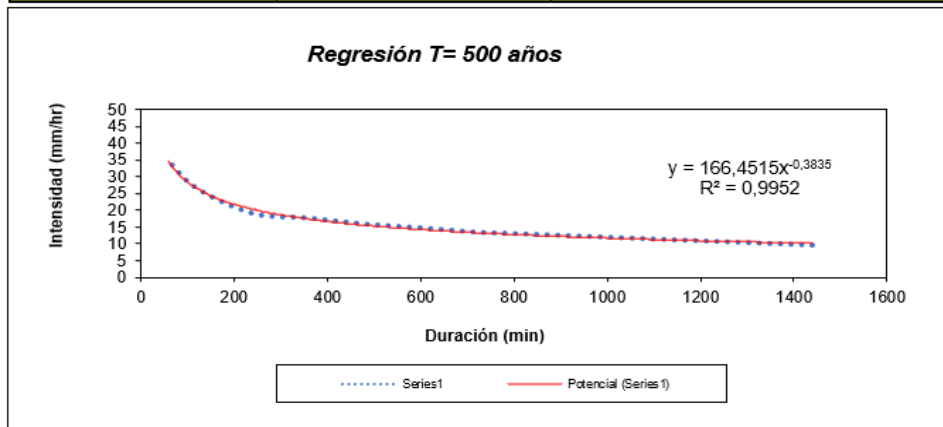
Periodo de retorno para $T = 50$ años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6,8912	7,2724	1,9302	14,0375	52,8878
2	1080	8,2694	6,9847	2,1126	14,7557	48,7863
3	840	9,2145	6,7334	2,2208	14,9534	45,3387
4	720	9,6476	6,5793	2,2667	14,9133	43,2865
5	600	10,5848	6,3969	2,3594	15,0931	40,9207
6	480	11,3704	6,1738	2,4310	15,0086	38,1156
7	360	12,6798	5,8861	2,5400	14,9507	34,6462
8	240	13,6445	5,4806	2,6133	14,3228	30,0374
9	120	19,0197	4,7875	2,9455	14,1014	22,9201
10	60	24,8082	4,0943	3,2112	13,1477	16,7637
10	5940	126,1302	60,3891	24,6307	145,2841	373,7030
$Ln(d) =$		4,7789	$d =$	118,9686	$n =$	-0,3835



<i>Periodo de retorno para T = 100 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	7,7219	7,2724	2,0441	14,8652	52,8878
2	1080	9,2663	6,9847	2,2264	15,5507	48,7863
3	840	10,3253	6,7334	2,3346	15,7198	45,3387
4	720	10,8107	6,5793	2,3805	15,6621	43,2865
5	600	11,8608	6,3969	2,4732	15,8212	40,9207
6	480	12,7411	6,1738	2,5448	15,7113	38,1156
7	360	14,2083	5,8861	2,6538	15,6207	34,6462
8	240	15,2894	5,4806	2,7272	14,9466	30,0374
9	120	21,3125	4,7875	3,0593	14,6463	22,9201
10	60	27,7989	4,0943	3,3250	13,6137	16,7637
10	5940	141,3351	60,3891	25,7689	152,1575	373,7030
Ln (d) =		4,8927	d =	133,3102	n =	-0,3835



<i>Periodo de retorno para T = 500 años</i>						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	9,6416	7,2724	2,2661	16,4799	52,8878
2	1080	11,5699	6,9847	2,4484	17,1014	48,7863
3	840	12,8922	6,7334	2,5566	17,2148	45,3387
4	720	13,4982	6,5793	2,6026	17,1229	43,2865
5	600	14,8095	6,3969	2,6953	17,2414	40,9207
6	480	15,9086	6,1738	2,7669	17,0820	38,1156
7	360	17,7405	5,8861	2,8759	16,9276	34,6462
8	240	19,0904	5,4806	2,9492	16,1634	30,0374
9	120	26,6108	4,7875	3,2813	15,7093	22,9201
10	60	34,7097	4,0943	3,5470	14,5227	16,7637
10	5940	176,4714	60,3891	27,9892	165,5654	373,7030
Ln (d) = 5,1147		d = 166,4515		n = -0,3835		



Anexo 2: Clasificación de áreas aportantes de caudal hacia Avenida Normandie.

Cuenca-Predio	Tipo Zona	Área ha	Pendiente	Pendiente	Longitud	Cotas (curva nivel)	
						Superior	Inferior
C-1	RESIDENCIAL	0,762	5,1%	0,051	39,0	13,0	11,0
C-2	RESIDENCIAL	1,055	4,1%	0,041	97,1	13,0	9,0
C-3	RESIDENCIAL	0,819	4,3%	0,043	115,5	12,0	7,0
C-4	RESIDENCIAL	0,502	4,0%	0,040	126,0	11,0	6,0
C-5	COMERCIAL	2,284	3,7%	0,037	137,0	10,5	5,5
C-6	RESIDENCIAL	1,675	3,2%	0,032	104,9	9,0	5,6
C-7	RESIDENCIAL	1,215	3,2%	0,032	50,6	5,6	4,0
C-8	COMERCIAL	0,503	2,9%	0,029	117,9	9,1	5,7
C-9	RESIDENCIAL	1,246	0,2%	0,002	122,0	3,1	2,9
C-10	COMERCIAL	1,087	3,3%	0,033	42,6	4,5	3,1
C-11	COMERCIAL	2,271	3,3%	0,033	115,2	8,3	4,5
C-12	COMERCIAL	0,551	0,4%	0,004	102,0	3,5	3,1
C-13	COMERCIAL	2,266	2,3%	0,023	138,6	6,2	3,0
C-14	RESIDENCIAL	2,337	5,4%	0,054	116,7	12,5	6,2
C-15	RESIDENCIAL	2,328	4,5%	0,045	143,8	13,2	6,8
C-16	RESIDENCIAL	1,083	5,8%	0,058	131,9	13,6	5,9
C-17	RESIDENCIAL	1,158	4,6%	0,046	129,1	14,1	8,1
C-19	RESIDENCIAL	0,626	3,8%	0,038	106,1	16,0	12,0
C-20	RESIDENCIAL	0,696	3,1%	0,031	115,0	16,3	12,7
C-21	RESIDENCIAL	0,683	3,3%	0,033	120,0	17,0	13,0
C-22	RESIDENCIAL	0,677	5,7%	0,057	35,2	16,0	14,0
C-23	RESIDENCIAL	0,809	5,1%	0,051	33,0	17,7	16,0
C-24	COMERCIAL	0,442	4,9%	0,049	57,0	14,3	11,5
C-25	RESIDENCIAL	0,757	3,6%	0,036	65,8	16,7	14,3
C-26	RESIDENCIAL	0,860	3,5%	0,035	73,4	19,3	16,7
C-27	RESIDENCIAL	1,448	3,9%	0,039	119,3	23,9	19,3
C-28	RESIDENCIAL	1,475	4,0%	0,040	118,8	22,8	18,0
C-29	RESIDENCIAL	1,414	4,5%	0,045	119,0	21,7	16,3
C-30	RESIDENCIAL	0,453	4,1%	0,041	122,4	21,0	16,0
C-31	RESIDENCIAL	0,423	4,5%	0,045	119,9	20,5	15,1
C-32	RESIDENCIAL	0,476	5,0%	0,050	116,6	20,3	14,5
C-33	RESIDENCIAL	1,971	3,4%	0,034	122,4	20,5	16,3
C-34	RESIDENCIAL	2,344	5,4%	0,054	118,6	20,0	13,6
C-35	RESIDENCIAL	0,649	6,3%	0,063	121,0	20,8	13,2
C-36	RESIDENCIAL	0,622	6,3%	0,063	121,0	20,8	13,2
C-37	RESIDENCIAL	0,914	7,2%	0,072	114,6	21,0	12,7
C-38	RESIDENCIAL	2,318	4,2%	0,042	167,0	18,0	11,0
C-39	RESIDENCIAL	2,275	4,0%	0,040	211,1	24,5	16,0
C-40	RESIDENCIAL	2,200	5,8%	0,058	132,9	28,5	20,8
C-41	RESIDENCIAL	2,230	6,8%	0,068	116,1	27,9	20,0
C-42	COLEGIO	0,572	5,1%	0,051	116,9	26,5	20,5
C-43	RESIDENCIAL	1,260	5,4%	0,054	112,4	26,5	20,5
C-44	RESIDENCIAL	0,486	6,0%	0,060	118,5	27,3	20,2
C-45	RESIDENCIAL	0,472	5,6%	0,056	118,8	27,0	20,3
C-46	RESIDENCIAL	0,463	5,0%	0,050	120,9	27,0	21,0
C-47	RESIDENCIAL	1,493	5,0%	0,050	122,8	27,9	21,7
C-48	RESIDENCIAL	0,678	5,2%	0,052	61,3	26,0	22,8
C-49	RESIDENCIAL	0,672	4,7%	0,047	64,2	29,0	26,0
C-50	RESIDENCIAL	1,513	5,4%	0,054	123,1	30,5	23,9
C-51	RESIDENCIAL	0,936	4,6%	0,046	78,6	34,1	30,5
C-52	RESIDENCIAL	0,916	6,7%	0,067	76,6	39,2	34,1
C-53	RESIDENCIAL	1,782	9,7%	0,097	98,1	38,5	29,0
C-54	RESIDENCIAL	1,824	6,2%	0,062	156,0	37,6	27,9
Cuenca-Predio	Tipo Zona	Área ha	Pendiente	Pendiente	Longitud	Cotas (curva nivel)	
						Superior	Inferior

C-55	RESIDENCIAL	0,889	6,5%	0,065	146,9	36,5	27,0
C-56	RESIDENCIAL	0,916	6,2%	0,062	145,5	36,0	27,0
C-57	RESIDENCIAL	2,269	6,5%	0,065	145,4	36,0	26,5
C-58	RESIDENCIAL	1,093	1,3%	0,013	166,2	30,5	28,3
C-59	RESIDENCIAL	1,082	5,4%	0,054	55,5	35,0	32,0
C-60	RESIDENCIAL	0,429	4,5%	0,045	66,5	31,5	28,5
C-61	RESIDENCIAL	0,424	4,6%	0,046	65,8	34,5	31,5
C-62	RESIDENCIAL	1,414	7,8%	0,078	154,2	36,6	24,5
C-63	RESIDENCIAL	0,301	5,5%	0,055	82,0	39,0	34,5
C-64	RESIDENCIAL	1,533	6,1%	0,061	203,7	29,4	17,0
C-65	RESIDENCIAL	1,700	6,5%	0,065	108,0	42,0	35,0
C-66	RESIDENCIAL	1,918	6,4%	0,064	146,0	44,9	35,5
C-67	RESIDENCIAL	0,731	7,5%	0,075	125,2	45,4	36,0
C-68	RESIDENCIAL	0,702	8,0%	0,080	118,5	46,0	36,5
C-69	RESIDENCIAL	1,369	8,9%	0,089	117,9	48,7	38,2
C-70	RESIDENCIAL	0,676	8,9%	0,089	58,5	43,7	38,5
C-71	RESIDENCIAL	0,686	6,5%	0,065	58,9	47,5	43,7
C-72	RESIDENCIAL	0,675	6,3%	0,063	74,2	43,9	39,2
C-73	RESIDENCIAL	0,534	8,9%	0,089	58,2	49,1	43,9
C-74	PLAZA	0,193	12,3%	0,123	70,7	55,8	47,1
C-75	PLAZA	0,547	13,4%	0,134	58,9	57,0	49,1
C-76	COMERCIAL	0,680	12,1%	0,121	58,9	54,6	47,5
C-77	RESIDENCIAL	0,676	10,8%	0,108	55,7	63,0	57,0
C-78	RESIDENCIAL	0,684	12,7%	0,127	58,3	62,0	54,6
C-79	RESIDENCIAL	0,421	8,4%	0,084	125,7	59,5	49,0
C-80	RESIDENCIAL	0,190	6,1%	0,061	70,8	58,4	54,1
C-81	RESIDENCIAL	0,120	10,5%	0,105	28,5	54,1	51,1
C-82	RESIDENCIAL	0,180	9,2%	0,092	42,2	51,1	47,2
C-83	RESIDENCIAL	0,419	10,4%	0,104	119,5	58,4	46,0
C-84	RESIDENCIAL	0,637	7,5%	0,075	74,4	56,6	51,0
C-85	RESIDENCIAL	0,766	8,8%	0,088	63,6	51,0	45,4
C-86	RESIDENCIAL	1,303	9,6%	0,096	117,9	56,2	44,9
C-87	RESIDENCIAL	0,477	7,7%	0,077	72,4	48,8	43,2
C-88	RESIDENCIAL	0,854	6,4%	0,064	141,4	49,2	40,1
C-89	RESIDENCIAL	0,857	9,2%	0,092	57,4	54,5	49,2
C-90	INDUSTRIAL	0,436	8,7%	0,087	117,7	50,3	40,1
C-91	RESIDENCIAL	1,046	6,3%	0,063	218,9	44,8	31,0
C-92	RESIDENCIAL	1,042	7,1%	0,071	209,3	48,0	33,2
C-93	COLEGIO	2,260	6,1%	0,061	232,2	35,0	20,8
C-94	RESIDENCIAL	1,081	6,2%	0,062	223,3	37,8	24,0
C-95	RESIDENCIAL	1,072	7,3%	0,073	213,8	38,0	22,3
C-96	RESIDENCIAL	0,724	5,4%	0,054	134,8	43,0	35,7
C-97	RESIDENCIAL	0,698	6,5%	0,065	135,6	49,0	40,2
C-98	RESIDENCIAL	0,721	7,2%	0,072	134,0	55,1	45,4
C-99	RESIDENCIAL	2,313	9,0%	0,090	207,3	69,0	50,3
C-100	RESIDENCIAL	1,837	10,0%	0,100	165,3	72,4	55,8
C-101	RESIDENCIAL	1,480	10,5%	0,105	114,8	68,4	56,4
C-102	RESIDENCIAL	1,406	9,8%	0,098	161,0	72,8	57,0
C-103	RESIDENCIAL	1,428	8,8%	0,088	137,1	74,0	62,0
C-104	RESIDENCIAL	1,424	12,8%	0,128	125,3	79,0	63,0
C-105	RESIDENCIAL	1,397	8,1%	0,081	123,9	89,0	79,0
C-106	RESIDENCIAL	1,426	6,6%	0,066	135,5	83,0	74,0
C-107	RESIDENCIAL	1,408	8,4%	0,084	142,8	81,0	69,0
C-108	RESIDENCIAL	1,493	10,8%	0,108	117,1	81,4	68,7
C-109	RESIDENCIAL	1,183	11,0%	0,110	145,6	87,0	71,0
C-110	RESIDENCIAL	0,696	15,4%	0,154	118,3	88,2	70,0
C-111	RESIDENCIAL	1,521	11,8%	0,118	160,0	83,4	64,6
C-112	RESIDENCIAL	0,760	5,7%	0,057	121,8	64,0	57,0
C-113	RESIDENCIAL	0,4967	Q21	0,064	124,3	58,7	50,7
Cuenca-Predio	Tipo Zona	Área ha	Pendiente	Pendiente	Longitud	Cotas (curva nivel)	
						Superior	Inferior

C-114	RESIDENCIAL	0,284	7,2%	0,072	84,6	54,3	48,2
C-115	PLAZA	0,476	2,7%	0,027	117,2	49,3	46,1
C-116	RESIDENCIAL	0,283	3,3%	0,033	79,6	45,1	42,5
C-117	RESIDENCIAL	0,496	2,3%	0,023	133,1	42,8	39,8
C-118	RESIDENCIAL	0,754	3,3%	0,033	131,4	37,0	32,7
C-119	RESIDENCIAL	1,047	0,5%	0,005	138,9	23,7	23,0
C-120	RESIDENCIAL	0,149	5,9%	0,059	50,6	29,0	26,0
C-121	RESIDENCIAL	0,588	3,4%	0,034	105,5	14,6	11,0
C-122	RESIDENCIAL	1,634	6,2%	0,062	93,2	16,3	10,5

Bibliografía

- Alfaro Rosales, A. (2017). *Concreto permeable como sistema de drenaje de aguas pluviales en estacionamientos, casa Farmacias San Pablo, sucursal Tláhuac-Culhuacán (Tesis Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura)*. Tecamachalco, Ciudad de México.
- Altarejos, G. (2007). Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en el desarrollo urbanístico de Paterna(Valencia). *V Congreso de Ingeniería Civil, Sevilla 26,27 y 28 de Noviembre de 2007*. Sevilla.
- ASCE/EPA. (2002). *Urban Stormwater BMP Performance Monitoring. A Guidance Manual for Meeting the National Stormwater BMP Database Requirements*. Washington DC, EEUU.
- Ávila Parra, K., & Vide, J. (2013). *Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental*. Universidad de Granada.
- Bahamondes, R. (2013). *Análisis de métodos de diseño de pavimentos de adoquines de Hormigón*. Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Civil, Concepción, Chile.
- Bayón Rodríguez, J. (2013). *SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. LA INFRAESTRUCTURA VERDE*. SAIA P.
- BCN. (s.f.). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2021&idcom=5107
- Boller, M. (1997). *Tracking Heavy Metals Reveals Sustainability Deficits of Urban Drainage Systems*. *Water Science and Technology* (Vol. 35).
- Campos Gomez, I. (2000). *Saneamiento ambiental*. EUNED.
- Cárdenas, E., Albiter, A., & Jaimes, J. (2017). *Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua*.
- Carvajal Tapia, C. (2015). *Quintero, Una Historia de Frustraciones 1891-1945*. Tesis para optar al grado de Magister en Historia de Chile y América, Universidad de Valparaíso, Facultad de Humanidades, Instituto de Historia, Valparaíso. Obtenido de <http://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/1808/MAGISTER%20HISTORIA%20Carvajal%20Tapia%2C%20Cruz.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J., & Ballester Muñoz, F. (2005). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds)*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442005000500004&lng=es&tlng=es.

- Castro Fresno, D., Rodríguez Bayón, J., Rodríguez Hernández, J., & Ballester Muñoz, F. (2005). *Sistemas urbanos de drenaje sostenible (Suds)*. Caracas, Venezuela.
- Castro, J. (2004). *Diseño de mezcla y construcción de pavimentos de hormigón poroso en Chile*. Tesis de Magister, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Castro-Fresno, D., Andres-Valeri, C., Sañudo Fontaneda, L., & Rodriguez-Hernandez, J. (2013). *Sustainable Drainage Practices in Spain, Specially Focused on Pervious Pavements*.
- Ferrando, A., & Francisco, J. (Noviembre de 2006). Revista de Urbanismo N°15. Características de las inundaciones. Universidad de Chile Departamento de Urbanismo. (M. I. R, Ed.)
Obtenido de
https://web.uchile.cl/vignette/revistaurbanismo/CDA/urb_completa/0,1313,ISID%253D668%2526IDG%253D2%2526ACT%253D0%2526PRT%253D19141,00.html
- Ferrando, F. (Noviembre de 2006). Sobre inundaciones y anegamientos. *Revista de urbanismo*, 25-42.
- García Haba, E. (2011). *Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables : Aplicación en climas mediterráneos*. Valencia.
- Gómez, B. N. (2021). *Propuesta de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en la zona urbana de la comuna de Quilpué*. Memoria, Facultad de Ingeniería, Escuela de Construcción Civil Universidad de Valparaíso.
- González Varas, F. (2012). *Estudio de Localidades Rurales de Quintero*. Pontificie Universidad Católica de Valparaíso, Escuela de Arquitectura y Diseño, Valparaíso.
- Gromaire-Mertz; Garnaud S; González A; Chebbo G. (1999). *Caracterización de la contaminación por escorrentía urbana en París. Ciencia y Tecnología del Agua*. Vol 2.
- Guerra Chayña, P. (2020). *Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible, EP*. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Union. Lima, Perú.
- Gumbel, E. (2004). *Statistics of Extremes*, Dover Publications, Inc. New York,. USA.
- Hidráulicas, D. d. (2013). *Manual de Drenaje Urbano*. Obtenido de
<https://www.repositoriodirplan.cl/handle/20.500.12140/25907>
- Hidráulicas, D. G. (2013). *Manual de Drenaje Urbano DOH*. Ministerio de Obras Públicas .
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019). *División Política Administrativa y Censal Región de Valparaíso*. Instituto Nacional de Estadísticas, Departamento de Geografía. Obtenido de
<https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/población-y-vivienda-valparaíso.pdf>
- Jimenes. (1999). *Contaminación por escorrentía urbana*. Colección SEINOR No. 22, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, España.

- Martínez, L. S. (Noviembre de 2018). *Guía nueva cultura del agua, el agua en el medio urbano*.
Obtenido de <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/areas/el-agua-en-el-medio-urbano/23-que-pasa-cuando-llueve-en-una-ciudad?highlight=WyJxdWUiLCJwYXNhlwiY3VhbmRvliwibGx1ZXZlliwicXVlIHBhc2EiLCJxdWUgcGFzYSBjdWFuZG8iLCJwYXNhiGN1YW5kbyIsInBhc2EgY3VhbmRvIGxsdWV2>
- Ministerio de Desarrollo Social, División de Evaluación Social de Inversiones. (2017). *Metodología de formulación y evaluación de proyectos de evacuación y drenaje de aguas lluvias*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2008). Art.21.4. *Obras de Subdrenaje . División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). *Códigos de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Santiago, Chile. Obtenido de <http://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3467>
- MINVU. (2005). *GUÍA DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS URBANOS DE INFRAESTRUCTURA DE AGUAS LLUVIAS*. MINVU, Departamento de Obras Urbanas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con el SERVIU, Santiago.
- MINVU. (2008). *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. Santiago, Chile.
- MINVU-DICTUC. (1996). *Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos*. . Guía de diseño, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Santiago, Chile.
- Monsalve Saenz, G. (1995). *Hidrología en la ingeniería*. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia.
- Montecinos, A., Montalva, G., & Vargas, J. (2008). *Comparación y proposición de métodos para determinar la conductividad hidráulica en arenas limosas*. Universidad de Concepción, Concepción.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos_ Segunda Edición*. Universidad Católica de Colombia.
- Morales Olivares, J. (2005). *Tesis, Técnicas de rehabilitación de pavimento de concreto utilizando sobrecapas de refuerzo*. Universidad de Pihura, Departamento Ingeniería Civil.
- Mullaney, J., Jefferies, C., & Mackinnon, E. (2011). *The performance of block paving with and without geotextile in the sub-base. In Proceedings of SUDSnet National and International Conference in Dundee*. UK.
- Observatorio Logístico_Red Vial Nacional Pavimentada y No Pavimentada*. (s.f.). Obtenido de <https://datos.observatoriologistico.cl/dataviews/226821/red-vial-nacional-pavimentada-y-no-pavimentada/>

- Perales, S., & Domenech, A. (2008). *Los sistemas Urbanos de drenaje sostenible: una alternativa a la gestión del agua de lluvia*. Universidad politécnica de Valencia, Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático, datos y cifras*. UNESCO.
- Rodriguez Arbelo, A. M. (2017). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (Tesis de Grado) Escuela Técnica Superior de Arquitectura*. Madrid.
- Rodriguez Arratia, C. (2003). *Construcción y Mejoramiento de Sistema de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias. Etapas de Prefactibilidad comuna de Quintero*.
- Rosatto, H., Botta, G., Becerra, A., Tardito, H., & Leveratto, M. (2016). *Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires*. Universidad de Luján de Cuyo, Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza.
- Ruiz, C. (2000). *Las Mezclas Drenantes en Chile*. Memoria de Ingeniería Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.
- Salinas, A. A. (2021). *Propuesta de pavimento de hormigón drenante con fibra de basalto para el centro urbano de Quilpué*. Universidad de Valparaíso, Tesis de Grado Facultad de Ingeniería, Valparaíso.
- Sanchez, F. (Julio de 2018). *Hidrología Hidrogeología*. Obtenido de <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>
- Sandoval, C., & Orobio, A. (2013). Efectos de las tolerancias de construcción en el desempeño de los pavimentos flexibles. *Ingeniería de la Construcción RIC*, 12.
- Sanhueza Salinas, L. (2013). *Tesis Prefactibilidad de la Comercialización de Cubos Drenes*. Universidad Andrés Bello, Facultad de Ingeniería Industrial, Santiago.
- Santos Granados, G., & Cubides, E. (2018). *Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración*. Universidad Católica de Pereira.
- Sotomayor Cuadrado, A. J., & Yabrudy Mercado, H. J. (2020). *Variación histórica del coeficiente de escorrentía en la microcuenca del Canal Ricaurte de la ciudad de Cartagena*. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería Programa Ingeniería Civil.
- Suárez Aguilar, Z., & Sepúlveda Delgado, O. (2020). *Modelo matemático para estimar curvas de intensidad, duración y frecuencia de lluvias extremas en Tunja, Colombia*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias, Escuela de Matemáticas y Estadística, Tunja, Colombia.
- Témez, J. R. (1978). *Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*.

Torres, A., Ortega D, & Daza, E. (2011). *Propiedades filtrantes de los pavimentos porosos rígidos*. Universidad del Valle.

UNDESA. (Noviembre de 2018). *Departamento de Asuntos Economicos y Sociales*. Obtenido de <http://bcn.cl/27qym>

Urbanismo, M. d. (2017). *Manual de Elementos Urbanos Sustentables, Tomo II: Pavimentos y Circulaciones, Mobiliario Urbano*.

Valparaiso, P. R. (2013). *Memoria Explicativa PREMVAL*.

Varas, E., & Sánchez, S. (1984). *Curvas generalizadas de intensidad - duración-frecuencia de lluvias. Apuntes de ingeniería*. Chile.

Weiss L, L. (1964). *Ratio of true fixed-interval maximum rainfall. Journal of Hydraulics Division*.