



**Junta de
Planificación**

NÚMERO: 9452

Fecha: 18 de abril de 2023

Aprobado: Omar J. Marrero Díaz

Secretario de Estado

Departamento de Estado

Gobierno de Puerto Rico

REGLAMENTO PARA EL DISEÑO, CRITERIOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS PLUVIALES EN PUERTO RICO





**Junta de
Planificación**

REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN NÚM. 40
REGLAMENTO PARA EL DISEÑO, CRITERIOS DE OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS
PLUVIALES EN PUERTO RICO

PEDRO R. PIERLUISI
GOBERNADOR

JULIO LASSÚS RUIZ
PRESIDENTE

REBECCA RIVERA TORRES
VICEPRESIDENTA Y
MIEMBRO ASOCIADO

JOSÉ DÍAZ DÍAZ
MIEMBRO ASOCIADO

NÚMERO: 9452

Fecha: 18 de abril de 2023

Aprobado: Omar J. Marrero Díaz

Secretario de Estado

Departamento de Estado
Gobierno de Puerto Rico



VIGENCIA 2023

TABLA DE CONTENIDOS

RESOLUCIÓN	III
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	XXI
LISTA DE TÉRMINOS USADOS EN LAS ECUACIONES	XXIII
CAPÍTULO 1 APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN	1-1
SECCIÓN 1.1 DISPOSICIONES GENERALES	1-1
1.1.1 Título	1-1
1.1.2 Base Legal	1-1
1.1.3 Vigencia	1-1
1.1.4 Propósitos	1-1
1.1.5 Objetivos	1-2
1.1.6 Alcance y Aplicabilidad	1-2
1.1.7 Términos Empleados	1-3
1.1.8 Disposiciones de otros Reglamentos	1-3
1.1.9 Disposiciones Conflictivas o Contradictorias	1-3
1.1.10 Sanciones	1-3
1.1.11 Seguridad Pública	1-4
1.1.12 Relevo de Responsabilidad	1-4
1.1.13 Cláusula Derogatoria	1-4
1.1.14 Cláusula de Salvedad	1-4
1.1.15 Actualizaciones y Enmiendas	1-4
SECCIÓN 1.2 ORGANIZACIÓN DEL CONTENIDO	1-5
1.2.1 CAPÍTULO 1 – APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN	1-5
1.2.2 CAPÍTULO 2 – PLANIFICACIÓN E IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL	1-5
1.2.3 CAPÍTULO 3 – HIDROLOGÍA PARA LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	1-5

1.2.4	CAPÍTULO 4 – DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE CARRETERAS Y CALLES...	1-6
1.2.5	CAPÍTULO 5 – DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA SOTERRADO	1-6
1.2.6	CAPÍTULO 6 – ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍAS	1-6
1.2.7	CAPÍTULO 7 – MANEJO DE ESCORRENTÍAS PLUVIALES EN LA ZONA CÁRSTICA .	1-6
1.2.8	CAPÍTULO 8 – MEJORAS A SISTEMAS PLUVIALES EXISTENTES Y ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN	1-6
1.2.9	CAPÍTULO 9 – OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	1-6
1.2.10	CAPÍTULO 10 – GUÍA PARA EL DISEÑO DE MEDIDAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO	1-7
SECCIÓN 1.3	DEFINICIONES DE TÉRMINOS	1-7
SECCIÓN 1.4	REFERENCIAS.....	1-34

CAPÍTULO 2 PLANIFICACIÓN E IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL 2-1

SECCIÓN 2.1	INTRODUCCIÓN	2-1
SECCIÓN 2.2	IMPACTO EN LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LAS ESCORRENTÍAS	2-1
2.2.1	Aumento de Escorrentías	2-2
2.2.2	Calidad de las Aguas de Escorrentía Pluvial	2-2
SECCIÓN 2.3	IMPACTOS ADVERSOS EN LOS CUERPOS DE AGUA.....	2-2
SECCIÓN 2.4	PLANIFICACIÓN DEL MANEJO DE LAS ESCORRENTÍAS PLUVIALES.....	2-3
2.4.1	Diseño de Redes de Alcantarillado Pluvial	2-3
2.4.2	Criterios del Diseño Hidrológico.....	2-6
2.4.3	Criterios para el Diseño Hidráulico de Carreteras y Calles	2-7
2.4.4	Criterios para el Diseño Hidráulico del Sistema Soterrado	2-9
2.4.5	Criterios de Diseño para el Manejo de Escorrentías Pluviales en la Zona Cárstica	2-15
2.4.6	Mejoras y Rehabilitación de Sistemas Pluviales Existentes.....	2-17
2.4.7	Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Pluvial	2-19
2.4.8	Prácticas de Diseño de Bajo Impacto	2-20
SECCIÓN 2.5	REFERENCIAS	2-20

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA PARA LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL 3-1

SECCIÓN 3.1	PROPÓSITO.....	3-1
SECCIÓN 3.2	DISPOSICIONES GENERALES.....	3-1
3.2.1	Orden en la Aplicación de las Metodologías.....	3-1
3.2.2	Sistemas Mayor y Menor.....	3-2
3.2.3	National Engineering Handbook – Part 630 – Hydrology (NEH-630).....	3-2
3.2.4	Technical Report 55 (TR-55).....	3-3
3.2.5	Technical Report 20 (TR-20).....	3-4
3.2.6	Technical Paper 42 (TP-42).....	3-4
3.2.7	Distribución Temporal de Lluvia Tipo II del NRCS.....	3-4
SECCIÓN 3.3	EVENTOS DE LLUVIA PARA EL DISEÑO.....	3-5
3.3.1	EVENTO DE LLUVIA DE DISEÑO.....	3-5
3.3.2	SISTEMA MAYOR.....	3-5
3.3.3	SISTEMA MENOR.....	3-5
3.3.4	DURACIÓN DEL EVENTO DE LLUVIA DE DISEÑO.....	3-5
3.3.5	PROFUNDIDADES E INTENSIDADES DE LLUVIA PARA LOS EVENTOS DE DISEÑO	3-5
SECCIÓN 3.4	CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO	3-6
3.4.1	Cálculo del Número de Curva (CN) en el Área del Proyecto	3-6
3.4.2	Cálculo de Tiempo de Concentración.....	3-7
SECCIÓN 3.5	MODELAJE Y SIMULACIONES	3-8
3.5.1	Hietogramas para los Eventos de Diseño	3-9
3.5.2	Distribuciones Temporales de la Lluvia.....	3-9
3.5.3	Duraciones de Lluvia para la Validación del Diseño	3-9
3.5.4	Consideración del Cambio Climático.....	3-9
SECCIÓN 3.6	REFERENCIAS.....	3-11
SECCIÓN 3.7	TABLAS.....	3-13
SECCIÓN 3.8	FIGURAS	3-16
SECCIÓN 3.9	APÉNDICE 3.A - CÓMPUTO DE CAUDAL DE DISEÑO.....	3-17
3.9.1	Caudal de Diseño.....	3-17
3.9.2	Cálculo de la Escorrentía Directa Producida por el Evento de Lluvia de Diseño	3-17
SECCIÓN 3.10	APÉNDICE 3.B - CÓMPUTO DEL NÚMERO DE CURVA (CN)	3-18
3.10.1	Generalidades	3-18
3.10.2	Caso 1: Áreas permeables e impermeables directamente conectadas	3-18
3.10.3	Caso 2: Áreas impermeables desconectadas.....	3-19

SECCIÓN 3.11	APÉNDICE 3.C - CÓMPUTO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (t_c).....	3-20
3.11.1	Tiempo de Viaje para Flujo en Capa, T_t	3-20
3.11.2	Tiempo de Viaje para Flujo Concentrado Poco Profundo	3-23
3.11.3	Tiempo de Viaje para Flujo en Canal Abierto	3-23
3.11.4	Tiempo de viaje en otros conductos	3-24
3.11.5	Ejemplo 3.1 – Construcción de las curvas IDF	3-24
3.11.6	Ejemplo 3.2 –Procedimiento para la solución de la Ecuación 3.10.....	3-26

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE CARRETERAS Y CALLES **4-1**

SECCIÓN 4.1	PROPÓSITO.....	4-1
SECCIÓN 4.2	CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO	4-1
4.2.1	Sistema Menor	4-1
4.2.2	Sistema Mayor.....	4-2
SECCIÓN 4.3	CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS	4-2
SECCIÓN 4.4	CRITERIOS PARA PROFUNDIDAD DE LA ESCORRENTÍA EN CALLES Y CUNETAS PARA DISEÑO DEL SISTEMA MENOR	4-2
4.4.1	Criterio de Ancho Máximo de la Superficie Inundada de Carreteras y Calles.....	4-2
4.4.2	Criterio de Profundidad Máxima del Agua	4-3
4.4.3	Zonas de Depresión	4-3
4.4.4	Elevación del Nivel de Piso Terminado	4-3
SECCIÓN 4.5	CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DRENAJE SUPERFICIAL	4-3
4.5.1	Generalidades	4-3
4.5.2	Encintados y Cunetas.....	4-4
4.5.3	Pendientes y Anchos de Cunetas	4-4
4.5.4	Áreas que Drenan Directamente a Carreteras y Calles.....	4-4
4.5.5	Drenaje de Agua en los Puentes	4-5
SECCIÓN 4.6	CRITERIOS DE DISEÑO PARA POCETOS.....	4-5
4.6.1	Ubicación.....	4-5
4.6.2	Tipos de Pocetos y Entradas Permitidos.....	4-5
4.6.3	Obstrucciones de Entrada a Pocetos	4-6
4.6.4	Rejillas para los Pocetos	4-6

4.6.5	Pocetos de Ranura Continua (Slotted Drain Inlet)	4-7
4.6.6	Pocetos de Parrilla Continua.....	4-7
SECCIÓN 4.7	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LOS POCETOS	4-7
SECCIÓN 4.8	PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE POCETOS DE REJILLA Y POCETOS DE ENTRADA LATERAL USANDO HOJA DE CÁLCULO.....	4-7
SECCIÓN 4.9	CUNETAS EN ZONAS RURALES	4-7
SECCIÓN 4.10	REFERENCIAS	4-8
SECCIÓN 4.11	TABLAS.....	4-9
SECCIÓN 4.12	FIGURAS	4-10
SECCIÓN 4.13	APÉNDICE 4.A - CÁLCULO DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DE CUNETAS Y POCETOS..	4-14
4.13.1	Cálculo del Caudal en Cuneta Triangular de Sección Uniforme.....	4-14
4.13.2	Cálculo del Caudal en Cuneta Triangular de Sección Compuesta	4-15
4.13.3	Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Rejilla en Cunetas Triangulares de Sección Uniforme	4-17
4.13.4	Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Rejilla en Cunetas Triangulares de Sección Compuesta....	4-18
4.13.5	Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Entrada Lateral.....	4-19
4.13.6	Cálculo de la Capacidad de Pocetos Combinados de Rejilla y Entrada Lateral	4-20
4.13.7	Pocetos de Parrilla Continua (en Todo el Ancho de Rodaje)	4-20
4.13.8	Pocetos en Zonas de Empozamiento	4-21
SECCIÓN 4.14	APÉNDICE 4.B – FACTOR PARA OBSTRUCCIÓN DE ENTRADA A POCETOS	4-27
SECCIÓN 4.15	APÉNDICE 4.C - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA POCETOS DE REJILLA	4-27
SECCIÓN 4.16	APÉNDICE 4.D - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA POCETOS DE CON ENTRADA LATERAL.....	4-28
CAPÍTULO 5	DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA SOTERRADO.....	5-1
SECCIÓN 5.1	INTRODUCCIÓN	5-1
SECCIÓN 5.2	MATERIALES DE LAS TUBERÍAS	5-1
5.2.1	MATERIALES DISPONIBLES	5-1
5.2.2	ASOCIACIONES PARA BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	5-1
5.2.3	SELECCIÓN DEL MATERIAL	5-1
SECCIÓN 5.3	SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS TUBOS	5-1

SECCIÓN 5.4	ESTRUCTURAS DE ENTRADA AL SISTEMA SOTERRADO DE TUBERÍAS ..	5-2
5.4.1	POCETOS	5-2
5.4.2	MUROS DE CABECERA	5-2
SECCIÓN 5.5	POZOS DE REGISTRO (MANHOLES)	5-3
SECCIÓN 5.6	ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO	5-3
SECCIÓN 5.7	ALINEAMIENTO HORIZONTAL	5-3
SECCIÓN 5.8	ALINEAMIENTO VERTICAL	5-4
SECCIÓN 5.9	PENDIENTES Y VELOCIDADES	5-4
SECCIÓN 5.10	DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS	5-5
SECCIÓN 5.11	PROFUNDIDAD DEL AGUA PARA EL CAUDAL DE DISEÑO	5-5
SECCIÓN 5.12	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS TUBERÍAS	5-5
5.12.1	ECUACIONES	5-5
5.12.2	COEFICIENTES DE RUGOSIDAD	5-6
5.12.3	TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE LISAS	5-6
5.12.4	TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE RUGOSAS.	5-6
5.12.5	CONDUCTOS NO CIRCULARES.	5-7
SECCIÓN 5.13	PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL	5-7
5.13.1	PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN	5-7
5.13.2	PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN POZOS DE REGISTRO	5-7
SECCIÓN 5.14	ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	5-7
SECCIÓN 5.15	ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO PARA DESCARGAS DISPERSAS	5-8
SECCIÓN 5.16	NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES	5-9
SECCIÓN 5.17	SISTEMAS DE BOMBEO PARA AGUAS PLUVIALES	5-9
5.17.1	CONDICIONES PARA INSTALACIONES DE BOMBEO DE AGUAS PLUVIALES.	5-9
5.17.2	INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO FINAL	5-10
SECCIÓN 5.18	REFERENCIAS	5-11
SECCIÓN 5.19	TABLAS	5-12
SECCIÓN 5.20	FIGURAS	5-13
SECCIÓN 5.21	APÉNDICE 5.A – CÓMPUTO DE PENDIENTE MÍNIMA	5-15
SECCIÓN 5.22	APÉNDICE 5.B – ECUACIONES PARA DISEÑO DE TUBERÍAS	5-15
SECCIÓN 5.23	APÉNDICE 5.C – ECUACIONES PARA TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE LISAS	5-15

SECCIÓN 5.24	APÉNDICE 5.D – PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR N Y D USANDO EL FACTOR DE FRICCIÓN	5-16
SECCIÓN 5.25	APÉNDICE 5.E – ECUACIONES PARA ESTIMAR EL DIÁMETRO MÍNIMO EN TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE RUGOSAS	5-17
SECCIÓN 5.26	APÉNDICE 5.F - CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN	5-17
5.26.1	ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH	5-17
5.26.2	ECUACIÓN DE MANNING	5-17
SECCIÓN 5.27	APÉNDICE 5.G – CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN POZOS DE REGISTRO	5-17
5.27.1	ECUACIÓN GENERAL	5-18
5.27.2	COEFICIENTE INICIAL DE PÉRDIDAS DE CARGA HIDRÁULICA	5-18
5.27.3	FACTOR DE CORRECCIÓN POR DIÁMETRO DE TUBO	5-18
5.27.4	FACTOR DE CORRECCIÓN POR PROFUNDIDAD DE FLUJO	5-19
5.27.5	FACTOR DE CORRECCIÓN POR PORCENTAJE DE FLUJO DE CADA TUBERÍA	5-20
5.27.6	FACTOR DE CORRECCIÓN PARA FLUJO EN CAÍDA LIBRE	5-20
5.27.7	FACTOR DE CORRECCIÓN POR CONFIGURACIÓN DEL FONDO	5-20
CAPÍTULO 6	ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍAS	6-1
SECCIÓN 6.1	INTRODUCCIÓN	6-1
SECCIÓN 6.2	GENERALIDADES	6-1
SECCIÓN 6.3	CHARCAS DE RETENCIÓN	6-1
SECCIÓN 6.4	CHARCAS DE INFILTRACIÓN	6-2
SECCIÓN 6.5	CHARCAS INTERCONECTADAS	6-2
SECCIÓN 6.6	CHARCAS “FUERA DE LÍNEA” CON EL SISTEMA DE DRENAJE	6-3
SECCIÓN 6.7	CHARCAS DE DETENCIÓN	6-3
SECCIÓN 6.8	OTROS USOS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA.....	6-3
SECCIÓN 6.9	CRITERIOS DE DISEÑO	6-3
6.9.1	Localización del Lugar de Descarga	6-4
6.9.2	Efectos Aguas Abajo de la Descarga de la Charca	6-4
6.9.3	Pendientes de Taludes	6-4
6.9.4	Pendientes y Canal en el Fondo de la Charca	6-4
6.9.5	Manejo de Sedimentos	6-5

SECCIÓN 6.10	EVENTOS DE DISEÑO PARA CHARCAS DE DETENCIÓN	6-5
6.10.1	Generalidades	6-5
6.10.2	Distribuciones Temporales de la Lluvia.....	6-5
6.10.3	Duraciones de Tiempo de la Lluvia.....	6-5
6.10.4	Periodos de Retorno.....	6-5
6.10.5	Profundidades de la Lluvia	6-6
6.10.6	Escenarios de Mitigación.....	6-6
6.10.7	Estructuras de Salida	6-6
SECCIÓN 6.11	NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES	6-6
SECCIÓN 6.12	VERTEDOR DE EMERGENCIA	6-6
SECCIÓN 6.13	DISTANCIA LIBRE VERTICAL.....	6-7
SECCIÓN 6.14	ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	6-7
SECCIÓN 6.15	TIEMPO DE VACIADO	6-7
SECCIÓN 6.16	NIVELES FREÁTICOS	6-7
SECCIÓN 6.17	REJILLAS PARA ESCOMBROS Y BASURA	6-7
SECCIÓN 6.18	SEGURIDAD Y ACCESO	6-7
SECCIÓN 6.19	POZOS DE DRENAJE COMO ESTRUCTURAS DE SALIDA	6-8
6.19.1	Condiciones para Uso de Pozos de Drenaje	6-8
6.19.2	Aspectos de Diseño para Pozos de Drenaje.....	6-8
SECCIÓN 6.20	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO PARA DESCARGAS DISPERSAS.....	6-9
SECCIÓN 6.21	NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES	6-9
SECCIÓN 6.22	SISTEMAS DE BOMBEO PARA ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA	6-9
SECCIÓN 6.23	REFERENCIAS	6-9
SECCIÓN 6.24	TABLAS.....	6-10
SECCIÓN 6.25	FIGURAS	6-11
SECCIÓN 6.26	APÉNDICE 6.A – ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA DE CONTROL DE SALIDA ...	6-14
6.26.1	VERTEDORES	6-14
6.26.2	Orificios	6-15
 CAPÍTULO 7	 MANEJO DE ESCORRENTÍAS PLUVIALES EN LA ZONA	
	CÁRSTICA.....	7-1
SECCIÓN 7.1	PROPÓSITOS.....	7-1

SECCIÓN 7.2	LEYES Y REGLAMENTOS	7-1
SECCIÓN 7.3	PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA PLUVIAL EN PROYECTOS DE DESARROLLOS	7-1
SECCIÓN 7.4	TÉCNICAS DE ESTUDIOS APLICABLES.....	7-3
7.4.1	Métodos No-Invasivos.....	7-3
7.4.2	Métodos Invasivos.....	7-4
SECCIÓN 7.5	ELEMENTOS DEL ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO Y SUMIDEROS	7-4
7.5.1	Información Mínima que se debe Obtener de los Estudios Invasivos y No-Invasivos	7-4
SECCIÓN 7.6	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	7-6
7.6.1	Propósito.....	7-6
7.6.2	Generalidades	7-6
7.6.3	Servidumbre Pluvial	7-7
7.6.4	Largo de la Zona de Amortiguamiento.....	7-7
7.6.5	Ancho de la Zona de Amortiguamiento.....	7-7
7.6.6	Vegetación.....	7-7
SECCIÓN 7.7	ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL SUMIDERO	7-8
7.7.1	Definición y Factores que Afectan la Capacidad Hidráulica.....	7-8
7.7.2	Generalidades	7-8
7.7.3	Escenario 1 – Depresión sin Aberturas Visibles.....	7-9
7.7.4	Escenario 2.A - Depresión con Abertura que se puede Inundar	7-10
7.7.5	Escenario 2.B - Depresión con Abertura que no se puede Inundar	7-10
SECCIÓN 7.8	CONTROL DE ESCORRENTÍAS (MITIGACIÓN).....	7-11
SECCIÓN 7.9	POZOS DE DRENAJE	7-11
SECCIÓN 7.10	VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN	7-12
SECCIÓN 7.11	USO DEL SUMIDERO PARA DESCARGAS PLUVIALES DE DESARROLLOS ADICIONALES.....	7-13
SECCIÓN 7.12	MANTENIMIENTO DE OBRAS DE CONTROL	7-13
SECCIÓN 7.13	REFERENCIAS	7-13
SECCIÓN 7.14	APÉNDICE 7.A – INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ZONA CÁRSTICA	7-14
7.14.1	Introducción.....	7-14
7.14.2	Hidrogeología de la Zona Cárstica	7-15
7.14.3	Geomorfología.....	7-18
SECCIÓN 7.15	APÉNDICE 7.B – INFORMACIÓN SOBRE MÉTODOS NO INVASIVOS.....	7-19

CAPÍTULO 8	MEJORAS A SISTEMAS PLUVIALES EXISTENTES Y ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN	8-1
SECCIÓN 8.1	PROPÓSITO.....	8-1
SECCIÓN 8.2	DISPOSICIONES GENERALES.....	8-1
SECCIÓN 8.3	CONSIDERACIONES PARA LA REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	8-2
8.3.1	Auditoría del Sistema Pluvial Existente	8-2
SECCIÓN 8.4	PROCESO DE REHABILITACIÓN	8-3
8.4.1	Criterios de Evaluación	8-4
SECCIÓN 8.5	TÉCNICAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO (LID) PARA REHABILITACIÓN ..	8-4
8.5.1	Disposiciones Generales.....	8-4
8.5.2	Técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto	8-5
SECCIÓN 8.6	REFERENCIAS	8-5
SECCIÓN 8.7	APÉNDICE 8.A - TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS	8-6
8.7.1	Excavación y reemplazo (Dig-and-Replace)	8-6
8.7.2	Revestimientos de Tubería Curada en Sitio (CIPP)	8-6
8.7.3	Revestimiento deslizado con tubería de Polietileno de Alta Densidad, PEAD (HDPE) (Sliplining).....	8-7
8.7.4	Revestimiento Centrifugado de Concreto (Centrifugally-Cast Concrete Pipe, CCCP).....	8-7
CAPÍTULO 9	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL.....	9-1
SECCIÓN 9.1	PROPÓSITO.....	9-1
SECCIÓN 9.2	DISPOSICIONES GENERALES.....	9-1
SECCIÓN 9.3	ETAPAS DE INSPECCIÓN Y ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO.....	9-2
SECCIÓN 9.4	ACCIONES PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EFICIENTES	9-2
SECCIÓN 9.5	SEGURIDAD	9-3
SECCIÓN 9.6	SISTEMAS SUBTERRÁNEOS DE DRENAJE.....	9-3
9.6.1	Inspección y Mantenimiento de sistemas subterráneos de drenaje.....	9-3
SECCIÓN 9.7	SISTEMA SUPERFICIAL DE DRENAJE	9-4
9.7.1	Inspección y Mantenimiento de sistema superficial de drenaje	9-4

SECCIÓN 9.8	ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA	9-4
9.8.1	Inspección y Mantenimiento de estructuras de control de escorrentía	9-4
SECCIÓN 9.9	MEDIDAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO.....	9-4
9.9.1	Sistemas de Biorretención de medidas de desarrollo de bajo impacto	9-4
9.9.2	Pavimento Permeable	9-5
9.9.3	Cauces Naturalizados	9-6
9.9.4	Techos Verdes	9-6
9.9.5	Colectores de Aguas de Lluvias	9-7
SECCIÓN 9.10	REFERENCIAS	9-7
SECCIÓN 9.11	TABLAS.....	9-9
SECCIÓN 9.12	APÉNDICE 9.A – EJEMPLO DE LISTA DE COTEJO.....	9-17

CAPÍTULO 10 GUÍA PARA EL DISEÑO DE MEDIDAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO 10-1

SECCIÓN 10.1	INTRODUCCIÓN	10-1
SECCIÓN 10.2	PLANIFICACIÓN PARA DISEÑO DE PRÁCTICAS DE BAJO IMPACTO	10-2
10.2.1	Consideraciones en el Diseño del Sistema Mayor y Menor para incluir Prácticas de Bajo Impacto (LID).....	10-2
10.2.2	Selección de Vegetación y Siembra	10-3
10.2.3	Drenaje e Infiltración en los Suelos.....	10-3
SECCIÓN 10.3	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES PREDESARROLLO	10-4
SECCIÓN 10.4	INFORMACIÓN PARA LAS SIMULACIONES EN COMPUTADORA PARA VALIDAR EL DISEÑO	10-5
SECCIÓN 10.5	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	10-6
10.5.1	Evento de diseño	10-6
10.5.2	Reducción del volumen de escorrentía postdesarrollo.....	10-7
10.5.3	Mantener el tiempo de concentración de la condición predesarrollo.....	10-7
SECCIÓN 10.6	MANEJO DE CAUDALES Y VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA DURANTE EVENTOS MAYORES AL EVENTO DE DISEÑO	10-8
SECCIÓN 10.7	SISTEMAS DE BIORRETENCIÓN.....	10-13
10.7.1	Descripción de los sistemas de biorretención	10-14
10.7.2	Aplicaciones de Sistemas de Biorretención	10-14

10.7.3	Criterios Comunes para Diseño de Sistemas de Biorretención	10-16
10.7.4	Jardines Pluviales.....	10-19
10.7.5	Celdas de Biorretención	10-20
10.7.6	Cajas Jardineras.....	10-21
10.7.7	Zanjas Vegetadas	10-23
SECCIÓN 10.8 PAVIMENTOS PERMEABLES.....		10-25
10.8.1	Descripción de Pavimentos Permeables	10-26
10.8.2	Técnicas de Infiltración a través de Superficies Permeables	10-27
10.8.3	Componentes de pavimentos permeables	10-29
10.8.4	Componentes de Almacenamiento (Subbase).....	10-33
10.8.5	Aplicaciones de Pavimentos Permeables.....	10-33
10.8.6	Consideraciones de Diseño para Pavimentos Permeables.....	10-35
SECCIÓN 10.9 CAUCES NATURALIZADOS.....		10-37
10.9.1	Descripción de los cauces naturalizados.....	10-37
10.9.2	Aplicación de los cauces naturalizados.....	10-37
10.9.3	Limitaciones de los cauces naturalizados	10-38
10.9.4	Consideraciones de diseño.....	10-38
SECCIÓN 10.10 TECHOS VERDES		10-39
10.10.1	Descripción de Techos Verdes.....	10-39
10.10.2	Aplicaciones de Techos Verdes	10-40
10.10.3	Limitaciones de Techos Verdes	10-40
10.10.4	Consideraciones de Diseño.....	10-40
SECCIÓN 10.11 RECOGIDO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA.....		10-41
10.11.1	Aplicaciones de Sistemas Recolectores de Aguas de Lluvia	10-41
10.11.2	Limitaciones de Sistemas de Recolección de Agua de Lluvia.....	10-42
10.11.3	Consideraciones de Diseño.....	10-43
SECCIÓN 10.12 REFERENCIAS		10-44
SECCIÓN 10.13 APÉNDICE 10.A - PRUEBA DE PERCOLACIÓN.....		10-44

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 3

Figura 3.1 Porcentajes de cambio en eventos de lluvia de 24 horas según escenarios de cambio climático para el periodo 2020 a 2049 en Mayagüez, Puerto Rico.	3-16
Figura 3.2 Escorrentía de áreas de captación compuestas con zonas impermeables directamente conectadas al sistema de drenaje pluvial	6-16

Capítulo 4

Figura 4.1 Esquemático de sección de carretera inundada.	4-10
Figura 4.2 Diferentes tipos de encintados y cunetas.	4-10
Figura 4.3 Ubicación de pocetos en intersecciones con pendientes continuas.	4-11
Figura 4.4 Tipos de Pocetos.	4-11
Figura 4.5 Detalle de sección transversal de pocetos (a) de rejillas, (b) combinado.	4-12
Figura 4.6 Parrilla P-50 y P-50 x 100 (La parrilla P-50 es la parrilla P50 x100 sin las barras transversales).	4-12
Figura 4.7 Parrilla P-30.	4-13
Figura 4.8 Secciones típicas de cunetas.	4-14
Figura 4.9 Detalle de sección de cuneta triangular compuesta.	4-16
Figura 4.10 Sección de un poceto de entrada lateral con depresión frente a la apertura	4-20
Figura 4.11 Perímetro en la ecuación de orificio.	4-22
Figura 4.12 Definición de la profundidad " d_0 " utilizada en las ecuaciones de vertedor y orificio.	4-22
Figura 4.13 Diferentes geometrías de entradas para pocetos de entrada lateral (la figura muestra flujo de orificio).	4-24
Figura 4.14 Poceto con entrada lateral: (a) sin depresión y (b) con depresión (la figura muestra flujo de vertedor).	4-25

Capítulo 5

Figura 5.1 Elevaciones de tipos de cajas de pocetos.	5-13
Figura 5.2 Ejemplo de un muro de contención con alas y plataforma de concreto para protección en la entrada de tubos pluviales.	5-13
Figura 5.3 Líneas de altura piezométrica gradiente de carga hidráulica y gradiente de energía.	5-14
Figura 5.4 Ángulo del cambio de dirección entre los tubos de entrada y salida en un pozo de registro.	5-19
Figura 5.5 Configuraciones del fondo del pozo.	5-21

Capítulo 6

Figura 6.1 Esquemático de charcas independientes.....	6-11
Figura 6.2 Esquemático de charcas interconectadas.	6-11
Figura 6.3 Esquemático de Estructura de Control de Escorrentía.	6-12
Figura 6.4 Detalles típicos de rejillas para escombros y basura en diferentes tipos de aperturas en una estructura de salida.	6-12
Figura 6.5 Estructura de control y almacenamiento de escorrentías con pozos de drenaje.	6-13
Figura 6.6 Vertedor rectangular sin contracciones.	6-16
Figura 6.7 Vertedor rectangular con contracciones.	6-16
Figura 6.8 Vertedor triangular.	6-17
Figura 6.9 Orificio con descarga libre.	6-17
Figura 6.10 Orificio con descarga sumergida.	6-18
Figura 6.11 Placa con múltiples orificios.....	6-18

Capítulo 7

Figura 7.1 Terrenos cársticos en el norte de Puerto Rico [6].....	7-15
Figura 7.2 Sección longitudinal generalizada de la Región Norte de Puerto Rico.	7-17
Figura 7.3 Sección transversal generalizada de la Región Norte de Puerto Rico.	7-17
Figura 7.4 Representación Gráfica de los Diferentes Tipos de Depresiones [7].	7-20

Capítulo 8

Figura 8.1 Ejemplo de la técnica de rehabilitación conocida como “excavación y reemplazo”.....	8-6
Figura 8.2 Ejemplo de la técnica de rehabilitación conocida como “Revestimientos de Tubería Curada en Sitio”.....	8-6
Figura 8.3 Revestimiento centrifugado de concreto para reparar tubos pluviales defectuosos. Se muestra el aplicador (spincaster).....	8-7
Figura 8.4 Configuración para Tubería PEAD usando la técnica de revestimiento deslizado	8-7

Capítulo 10

Figura 10.1 Prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID).	10-2
Figura 10.2 Hidrogramas conceptuales de caudales mostrando el concepto de la reducción del caudal pico y volumen de escorrentía posdesarrollo.	10-7
Figura 10.3 Jardinera con desborde.	10-9
Figura 10.4 Canal de desbordamiento.....	10-10
Figura 10.5 Drenaje para desbordamiento en sistema de biorretención.	10-10

Figura 10.6 Drenaje para desbordamiento en zanjas y canales vegetados.....	10-11
Figura 10.7 Aperturas en sardinel para interceptar flujo.....	10-11
Figura 10.8 Intercepción en la cuneta con entrada y salida para desborde.	10-12
Figura 10.9 Jardín pluvial con drenaje suplementario.	10-12
Figura 10.10 Trinchera de infiltración para flujo excedente de pavimento permeable.....	10-13
Figura 10.11 Sistema de biorretención en un terreno mejorado.	10-15
Figura 10.12 Sistema de biorretención en un terreno que no requiere mejoras.	10-15
Figura 10.13 Esquemático de una celda de biorretención.....	10-21
Figura 10.14 Esquemático de una jardinera filtrante confinada.	10-22
Figura 10.15 Esquemático de una jardinera filtrante no confinada.....	10-23
Figura 10.16 Esquemático de una zanja vegetada.	10-24
Figura 10.17 Componentes típicos de un pavimento permeable.	10-26
Figura 10.18 Sistema de pavimento permeable diseñado con infiltración total.....	10-28
Figura 10.19 Sistema de pavimento permeable diseñado para infiltración parcial.	10-28
Figura 10.20 Sistema de pavimento permeable diseñado sin infiltración provisto de una geomembrana y tubería perforada.....	10-29
Figura 10.21 Comparación entre asfaltos poroso y convencional en un área de estacionamiento para vehículos.....	10-30
Figura 10.22 Hormigón poroso para aceras o rampa para vehículos.	10-31
Figura 10.23 Bloques y adoquines de hormigón para pavimento permeable.	10-31
Figura 10.24 Pavimentación con césped o gravilla con refuerzo.....	10-32
Figura 10.25 Capas para el diseño de techos verdes.....	10-39
Figura 10.26 Sistema colector de agua de lluvia en una residencia.....	10-42

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3

Tabla 3.1. Periodos de recurrencia, en años, para la determinación del evento de lluvia de diseño.....	3-13
Tabla 3.2. Coeficientes de escorrentía, C , para uso en las Ecuaciones (3.1) y (3.2)	3-13
Tabla 3.3. Coeficientes de rugosidad de Manning, n , para flujo en capa.....	3-14.
Tabla 3.4. Coeficientes de Velocidad para Estimar Tiempo de Viaje en el Método de Velocidad en m/s....	3-14
Tabla 3.5. Ecuaciones para estimar la velocidad del flujo en cunetas	3-15

Capítulo 4

Tabla 4.1 Clasificación de carreteras y calle (Adaptado de Urban Drainage and Flood Control District	4-9
Tabla 4.2 Coeficientes de Manning para diferentes superficies de pavimentos y cunetas	4-9
Tabla 4.3 Coeficientes para estimar la velocidad de salpiqueo.....	4-9
Tabla 4.4 Razón de área de apertura al área total superficial de pocetos.....	4-15
Tabla 4.5 Coeficiente de obstrucción para la Ecuación 4.30.	4-17
Tabla 4.6 Factor de obstrucción, C_c , para múltiples pocetos según Ecuación 4.30.....	4-23
Tabla 4.7 Modelo de tabla para el dimensionamiento de pocetos de rejillas.....	4-30
Tabla 4.8 Modelo de tabla para el dimensionamiento de pocetos de entrada lateral.....	4-31

Capítulo 5

Tabla 5.1 Separación máxima entre pozos de registro o cámaras de acceso (American Concrete Pipes Association).....	5-12
Tabla 5.2 Valores promedio del coeficiente de Manning para tuberías nuevas.....	5-12
Tabla 5.3 Factor de pérdidas en pozo de registro para diferentes configuraciones del fondo.	5-21

Capítulo 6

Tabla 6.1 Eventos de lluvia para el diseño de charcas.....	6-10
--	------

Capítulo 7

Tabla 7.1. Descripción de expresiones de sumideros para utilizar durante la preevaluación de diseños.	7-20
--	------

Capítulo 9

Tabla 9.1 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas soterrados.	9-9
Tabla 9.2 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas superficiales.	9-10
Tabla 9.3 Actividades de inspección y mantenimiento para estructuras de control de escorrentía.	9-11
Tabla 9.4 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas de bio-retención.	9-12
Tabla 9.5 Actividades de conservación y limpieza para sistemas de bio-retención.....	9-13
Tabla 9.6 Actividades de inspección y mantenimiento para pavimentos permeables.	9-14
Tabla 9.7 Actividades de conservación y limpieza para pavimentos permeables.	9-14
Tabla 9.8 Actividades de inspección y mantenimiento para cauces naturalizados.	9-15
Tabla 9.9 Actividades de inspección y mantenimiento para techos verdes.	9-16
Tabla 9.10 Actividades de inspección y mantenimiento – Colector de agua de lluvia	9-16

Capítulo 10

Tabla 10.1 Efectos de los parámetros del CN en las medidas de diseño LID.....	10-8
Tabla 10.2 Gradación para el suelo franco arcilloso.....	10-16
Tabla 10.3 Proporciones de materiales para el suelo estructural.	10-17

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACPA	American Concrete Pipe Association.
AISI	American Iron and Steel Institute.
AMC	Antecedent Moisture Content
ASTM	American Society for Testing and Materials.
cm	Centímetros.
cm/hr o cmph	Centímetros por hora.
cm/s o cm/s	Centímetros por segundo.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
DAPR	Departamento de Agricultura de Puerto Rico.
DIPRA	Ductile Iron Pipe Research Association.
DRNA	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
EE. UU.	Abreviatura para Estados Unidos de América.
EPA	Environmental Protection Agency.
FHWA	Federal Highway Administration
GI	Green Infrastructure.
HDPE	High Density Polyethylene.
IDF	Curva de Intensidad, Duración y Frecuencia de la lluvia.
LGH	Línea del gradiente hidráulico.
LID	Low Impact Development.
MS4	Municipal Separate Storm Sewer Systems.
NRCS	Natural Resources Conservation Service.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration.
OGPe	Oficina de Gerencia de Permisos.
PA	Profesional Autorizado.
p	Pies.
p ³	Pies cúbicos.
p. ej.	Abreviatura para “por ejemplo”.
p ³ /hr o pch	Pies cúbicos por hora.
p ³ /s o pcs	Pies cúbicos por segundo.
p/s o pps	Pies por segundo.

PEAD	Polietileno de alta densidad.
PP	Polipropileno.
pulg	Pulgadas.
pulg/hr	Pulgadas por hora.
PVC	Policloruro de vinilo.
m	Metros.
m ³	Metros cúbicos.
m ³ /hr o mch	Metros cúbicos por hora.
m ³ /s o mcs	Metros cúbicos por segundo.
m/hr o mph	Metros por hora.
m/s o mps	Metros por segundo.
mm	Milímetros.
mm/hr o mmph	Milímetros por hora.
mm/s o mmpps	Milímetros por segundo.
s	Segundos.
SCS	Soil Conservation Service.
SI	Sistema Internacional de unidades, también conocido como sistema métrico.
SIG	Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés).
SuDS	Sustainable Drainage Systems.
US, U.S., USA o U.S.A.	Siglas y abreviaciones en inglés para Estados Unidos de América.
USC	Sistema anglosajón de unidades denominado así en los Estados Unidos de América.
USDA	US Department of Agriculture.
USEPA	Véase EPA.
USGS	US Geological Survey.
USWB	US Weather Bureau.
WSUD	Water Sensible Urban Design.

LISTA DE TÉRMINOS USADOS EN LAS ECUACIONES

α	Coeficiente en la ecuación de velocidad de salpiqueo en un poceto (ver Ecuación 4.11).
A	Área de captación, drenaje, cuenca hidrográfica o de una superficie que colecte escorrentía y la drene hacia un punto en común (punto de interés).
A_c	Área seccional de flujo en un tubo.
A_g	Área de apertura para el paso del agua a través de la rejilla de un poceto.
A_i	Denota el área de una superficie específica, i .
A_{pp}	Área de pavimento permeable requerida para almacenar el volumen de diseño.
β	Coeficiente en la ecuación de velocidad de salpiqueo en un poceto (ver Ecuación 4.11).
B	Diámetro interno de un pozo de registro.
C	Es un coeficiente de escorrentía utilizado en el cómputo del tiempo de concentración (ver Capítulo 3).
C_0	Factor de obstrucción para un poceto.
C_B	Factor de corrección por configuración del fondo.
C_c	Factor de obstrucción combinado en la entrada de pocetos (cuando se colocan más de una rejilla en serie).
C_d	Factor de corrección por profundidad de flujo.
C_p	Factor de corrección para flujo en caída libre.
c_p	Constante de proporcionalidad (ver Ecuación 7.1)
C_Q	Factor de corrección por porcentaje de flujo en cada tubo.
CN	Número de Curva.
$\overline{CN}$	Número de Curva ponderado (en área o volumen).
CN_i	Número de Curva correspondiente a un área específica, A_i .
CN_p	Número de Curva para el área permeable.
C_m	En la ecuación de Manning para flujo, coeficiente de unidades. Su valor depende de la forma en que la ecuación esté expresada y se da en el lugar donde se presente.
C_o	Coeficiente de descarga en la ecuación de caudal de un orificio.

C_s	Coeficiente que establece las unidades en una ecuación. Su valor varía dependiendo de la ecuación en particular.
C_u	Coeficiente que establece las unidades en la ecuación de Manning y onda cinemática ($C_u=1$ para SI; $C_u=1.486$ para USC).
C_w	Coeficiente de descarga para un vertedor (se usa 1.66 para sistema SI y 3.0 para sistema USC).
Δd	Caída final del agua en la prueba de percolación.
D	Diámetro del tubo.
d	La profundidad de agua en un pozo de registro calculada como la diferencia entre la elevación de la línea del gradiente hidráulico aguas arriba de la tubería de salida y la elevación de la invertida de la tubería de salida.
d_o	Profundidad promedio del agua sobre la rejilla del poceto (véase la Figura 4.12 o 4.13, según sea el caso).
D_i	Diámetro del tubo que llega al pozo de registro.
D_o	Diámetro del tubo de salida en un pozo de registro.
D_s	Profundidad adicional en una cuneta de sección compuesta. La altura del punto de intersección de la proyección de la pendiente lateral de la superficie de rodaje (S_x) y la pared del encintado.
d_{ini}	Profundidad inicial del agua en la prueba de percolación.
E_0	Eficiencia del poceto para atrapar el flujo frontal que fluye por una cuneta de sección compuesta.
E'_0	Eficiencia ajustada del poceto para atrapar el flujo frontal que fluye por una cuneta de sección compuesta.
E_f	Eficiencia total de un poceto para atrapar el caudal que le llega.
E_w	La razón entre el flujo en la zona con la depresión frente a la apertura de un poceto de entrada lateral y el caudal total en la cuneta.
e	Factor en la ecuación del factor de obstrucción combinado en la entrada de un poceto.
φ	Coeficiente en la ecuación de velocidad de salpiqueo en un poceto (ver Ecuación 4.11).
f	Factor de fricción de Darcy-Weisbach.
FR	Factor de reducción en la prueba de percolación.
γ	Coeficiente en la ecuación de velocidad de salpiqueo en un poceto (ver Ecuación 4.11).

g	Constante de aceleración gravitacional (9.81 m/s ² en sistema SI y 32.17 ft/s ² en sistema USC).
H_{ads}	Profundidad máxima del almacenamiento adicional por debajo del drenaje soterrado en sistemas de biorretención.
h	La diferencia en elevación entre la invertida de la tubería de llegada más alta y la línea de centro de la tubería de salida en un pozo de registro.
h_L	Pérdidas de energía en pozos de registro.
i	La intensidad de la lluvia en cm/hr (pulg/hr). También se utiliza como subíndice en algunas ecuaciones.
K	Coefficiente de pérdida de carga en un pozo de registro.
K_o	Coefficiente inicial de pérdida de carga basado en el tamaño relativo del pozo de registro.
L	Largo de un poceto (lado más largo del poceto).
l_c	Largo característico (ancho o diámetro) (cm) del agujero en la prueba de percolación.
L_{ch}	Largo de flujo en el régimen de flujo en canal abierto en el cómputo del tiempo de concentración.
L_e	La longitud efectiva de un poceto.
L_p	Longitud requerida de un poceto de entrada lateral para interceptar el 100% del flujo en la cuneta.
L_s	Largo de flujo sobre la superficie en el régimen de flujo en capa en el cómputo del tiempo de concentración.
L_{sp}	Largo de flujo en el régimen de flujo concentrado poco profundo en el cómputo del tiempo de concentración.
L_t	Largo del tubo en el cómputo de pérdidas por fricción.
N	Número de rejillas en serie en la entrada de un poceto.
n	Coefficiente de rugosidad de Manning para una superficie o material.
P	Lluvia total en cm (pulg).
P_{24-1}	Profundidad de lluvia para un evento de 24 horas de duración y frecuencia de un año.
P_c	Perímetro mojado de la sección de flujo en un conducto.
$P_{\overline{CN}}$	Profundidad de lluvia determinada con la ecuación del NRCS, utilizando un Número de Curva ponderado en el área del proyecto y multiplicado por un factor de 1.5. Se utiliza en el diseño de prácticas LID.
P_e	Perímetro efectivo del poceto (si el poceto tiene encintado, el largo paralelo al encintado no se toma en cuenta).

P_{imp}	Por ciento del área de captación que es impermeable.
P_{LID}	Profundidad de lluvia para el evento de diseño de las prácticas LID.
$perc$	Tasa de percolación en el fondo de una fosa de biorretención (ver Ecuación 7.1).
Q	Escorrentía directa. Es el resultado de la transformación de la lluvia en exceso en escorrentía utilizando el método del NRCS o Número de Curva (ver Capítulo 3).
Q_c	Caudal que fluye por una cuneta de sección uniforme o compuesta.
Q_d	Caudal de diseño en pies cúbicos por segundo (pcs) o metros cúbicos por segundo (mcs).
Q_i	Caudal de la tubería i que llega al pozo de registro.
Q_{int}	Caudal total interceptado por un poceto en una cuneta.
$Q_{int-frontal}$	Proporción del flujo interceptado frontalmente por un poceto.
$Q_{int-lateral}$	Proporción del flujo interceptado lateralmente por un poceto.
q_p	Caudal pico en el hidrograma unitario. Se utilizará para calcular el caudal de diseño (ver Capítulo 3).
Q	La escorrentía directa producida por el evento de lluvia de diseño.
Q_d	Caudal de diseño producido por la escorrentía directa de un evento de lluvia.
Q_o	Caudal de la tubería de salida en un pozo de registro.
Q_{ori}	Caudal entrando a un poceto cuando prevalece el flujo de orificio.
Q_u	La escorrentía directa unitaria (igual a 1 cm, o 1 pulg).
Q_{vert}	Caudal entrando a un poceto cuando prevalece el flujo de vertedor.
Q_w	Caudal dentro del segmento de la cuneta de sección compuesta con pendiente S_w .
Q_x	Caudal dentro del segmento de la cuneta de sección compuesta con pendiente S_x .
R	La razón del área impermeable desconectada al área impermeable total.
R_f	Fracción del flujo interceptado frontalmente por un poceto en una cuneta triangular de sección uniforme.
R_s	Fracción del flujo interceptado lateralmente por un poceto en una cuneta triangular de sección uniforme.
S	Retención potencial máxima de agua del área de captación en cm (pulg).
S_0	Pendiente (m/m o p/p) de la superficie por donde discurre el flujo.

S_{0c}	Pendiente (m/m o p/p) promedio de la superficie donde se sostiene el régimen de flujo en capa.
S_e	Pendiente equivalente transversal de la cuneta cuando el poceto de entrada lateral tiene depresión en el borde interno.
S_f	La pendiente, o gradiente, de la línea de energía en un tubo.
S_L	Pendiente longitudinal de la cuneta, carretera o calle.
S_x	Pendiente lateral de la rasante de la cuneta, carretera o calle.
S_w	Pendiente lateral más pronunciada en la cuneta de sección compuesta.
θ	Ángulo entre las tuberías de entrada y salida en un pozo de registro.
T	Ancho de la superficie libre de agua en una carretera o calle (metros o pies).
t_c	Tiempo de concentración.
T_s	Ver Figura 4.10 para su definición.
T_t	Tiempo de viaje. El tiempo que le toma a un caudal, o flujo, viajar una determinada distancia.
T_{t_1}	Tiempo de viaje para flujo en capa.
T_p	Tiempo al pico del hidrograma unitario del NRCS en horas.
V	Velocidad del flujo en m/s (p/s).
V_0	Velocidad del agua a la cual comienza el salpiqueo al llegar a un poceto.
V_p	Velocidad promedio de la escorrentía que llega al poceto en una cuneta.
W	Ancho de un poceto (lado más corto del poceto).
w	Ancho máximo de la superficie libre en el segmento de la cuneta de sección compuesta con pendiente S_w .
y	Profundidad normal del agua dentro de un conducto.
Y	Ver Figura 4.10 para su definición.

CAPÍTULO 1 APLICACIÓN E INTERPRETACIÓN

SECCIÓN 1.1 DISPOSICIONES GENERALES

1.1.1 Título

- a. Este reglamento de planificación se conocerá y citará como “Reglamento para el Diseño, Criterios de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillados Pluviales en Puerto Rico”.

1.1.2 Base Legal

- a. Este reglamento se adopta en armonía con las facultades concedidas a la Junta de Planificación (JP) de Puerto Rico por la Ley Núm. 75 de 24 de junio de 1975, según enmendada, conocida como “Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico” y la Ley Núm. 38 de 30 de junio de 2017, según enmendada, conocida como “Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”.

1.1.3 Vigencia

- a. Este reglamento comenzará a regir a los treinta (30) días después de su radicación en el Departamento de Estado, sujeto a las disposiciones de la Ley Núm. 75 de 24 de junio de 1975, según enmendada, conocida como “Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico” y la Ley Núm. 38 de 30 de junio de 2017, según enmendada, conocida como “Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”.

1.1.4 Propósitos

- a. Reglamentar el diseño de redes de sistema de alcantarillado pluvial en un marco regulatorio general.
- b. Establecer mejores prácticas de ingeniería disponibles para el diseño y análisis mediante la adopción de una regulación coherente y actualizada en el manejo de las escorrentías pluviales considerando los siguientes.
 1. Infraestructura pluvial (superficial y subterránea).
 2. Diseño de sistemas con consideraciones al cambio climático en cumplimiento con la Ley Núm. 33 del 22 de mayo de 2019 conocida como “Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico”.
 3. Manejo de aguas de escorrentías pluviales en la zona cárstica.
 4. Estructuras de Control de Escorrentías, p.ej., charcas de retención y detención.

5. Técnicas de rehabilitación de sistemas pluviales existentes.
6. Criterios de operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillados pluviales.
7. Guías para prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés).

1.1.5

Objetivos

- a. Este reglamento establecerá las consideraciones mínimas para reglamentar el diseño de sistemas pluviales en todo desarrollo de terrenos con los siguientes objetivos.
 1. Proveer un instrumento robusto que facilite, a los diferentes sectores, diseñar, planificar y monitorear la infraestructura y desarrollar planes de manejo de aguas de escorrentías pluviales.
 2. Integrar y armonizar los conceptos de mitigar el efecto de las inundaciones urbanas reduciendo el deterioro de los recursos hídricos, de los ecosistemas, y de los impactos adversos a la vida, salud, propiedad y economía.
 3. Incluir en el diseño el concepto de cambio climático en armonía con la política pública del Gobierno de Puerto Rico establecida mediante la Ley Núm. 33 del 22 de mayo de 2019 conocida como “Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico”.
 4. Adopción de nuevos avances en el campo de la ingeniería hidrológica, ingeniería hidráulica, manejo de riesgos, la planificación y construcción de proyectos presentando técnicas actualizadas de análisis y criterios de diseño de infraestructura pluvial que abarcan temas desde la rehabilitación de sistemas de drenaje, operación y mantenimiento de sistemas, y técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés).

1.1.6

Alcance y Aplicabilidad

- a. Las normas que se establecen en este reglamento aplican a toda la jurisdicción del Estado Libre Asociado tomando en consideración todos los instrumentos de planificación vigentes.
- b. Este reglamento aplica a todo desarrollo de terrenos en toda la jurisdicción del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
- c. Este reglamento será complemento del Reglamento Conjunto vigente, en especial las siguientes secciones, pero sin limitarse a estas.
 1. Especificaciones y Requerimientos de Dibujos para Planos
 2. Obras de Mejoras Públicas Exentas

3. Permisos Verdes
4. Urbanizaciones y Lotificaciones
5. Manejo de Aguas Pluviales.
6. Obras Pluviales.
7. Constitución de Servidumbres Pluviales.
8. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado Pluviales.
9. Uso, Disfrute y Mantenimiento de las Servidumbre Pluviales.
10. Restricciones en las Servidumbres Pluviales.
11. Disposiciones para la Zona Costera y de Accesos a las Playas y Costas de Puerto Rico

1.1.7 Términos Empleados

- a. Cuando así lo justifique su uso en este reglamento, se entenderá que toda palabra usada en singular también incluye el plural y viceversa y el masculino incluirá el femenino y viceversa.

1.1.8 Disposiciones de Otros Reglamentos

- a. Las disposiciones de este reglamento quedarán complementadas por las disposiciones de cualquier otro reglamento, guía, o norma en vigor aprobado por la Junta de Planificación, o por la Comunidad Participante, que sea de aplicación para la zona específica en que ubique la propiedad, así como por cualquier otra reglamentación federal aplicable.

1.1.9 Disposiciones Conflictivas o Contradictorias

- a. Si un requisito establecido por cualquier disposición de este reglamento es más o menos restrictivo que un requisito establecido por cualquier otra de sus disposiciones, o por cualquier otra ley, reglamento, o norma establecida por cualquier autoridad gubernamental, debidamente constituida que tenga jurisdicción, el requisito más estricto prevalecerá.

1.1.10 Sanciones

- a. Cualquier violación a las disposiciones de este reglamento, será penalizada, según lo dispuesto en la Ley Núm. 75 del 24 de junio de 1975, según enmendada, conocida como “Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico”; y Ley Núm. 161 de 1 de diciembre de 2009, según enmendada, conocida como “Ley para la Reforma del Proceso de Permiso de Puerto Rico”.

1.1.11 Seguridad Pública

- a. Las disposiciones establecidas en este reglamento constituyen requisitos mínimos. La JP, o la Comunidad Participante, podrán requerir y disponer el cumplimiento de requisitos mayores en cualquier caso en que exista o se anticipe una condición no prevista en este reglamento que constituya una amenaza a la vida o propiedad de la ciudadanía, o un grave peligro a la salud y a la seguridad pública.

1.1.12 Relevamiento de Responsabilidad

- a. El grado de ejecución requerido por este reglamento se considera razonable para fines reglamentarios y se basa en consideraciones científicas y de ingeniería. Este reglamento no crea responsabilidad por parte de la Junta de Planificación de Puerto Rico, la Oficina de Gerencia de Permisos (OGPe), o de la Comunidad Participante que resulte de depender de este reglamento o cualquier decisión administrativa legalmente alcanzada a partir de este.

1.1.13 Cláusula Derogatoria

- a. Se deroga la Resolución JP-211 (Normas de Diseño para Sistemas de Alcantarillado Pluvial) del 26 de junio de 1975.

1.1.14 Cláusula de Salvedad

- a. Si cualquier palabra, oración, inciso, subsección, sección, capítulo, o parte de este reglamento fuera impugnada por cualquier razón ante un Tribunal y declarada inconstitucional o nula, tal sentencia no afectará, menoscabará o invalidará las restantes disposiciones y partes de este reglamento sino que su efecto se limitará a la palabra, oración, inciso, subsección, sección, capítulo, o parte así declarada inconstitucional o nula, y la nulidad o invalidez de cualquier palabra, oración, inciso, subsección, sección, capítulo, o parte en algún caso específico no afectará o perjudicará en sentido alguno su aplicación o validez en cualquier otro caso, excepto cuando específica y expresamente se invalide para todos los casos.

1.1.15 Actualizaciones y Enmiendas

- a. Este reglamento podrá ser enmendado o actualizado, en cuyo caso regirán, entre otras, las siguientes reglas.
 - 1. La enmienda de una parte de este reglamento no requerirá la enmienda de la totalidad del documento.
 - 2. Enmiendas parciales al reglamento solo requerirán la adopción por parte de la OGPe, o las Entidades Gubernamentales Concernidas afectadas por las mismas, y la aprobación de la JP.

3. Si la JP no está de acuerdo con alguna enmienda propuesta, emitirá una Resolución en la que detallará su objeción, en un término no mayor de treinta (30) días desde la notificación de ésta, y la devolverá a la OGPc o a las entidades gubernamentales concernidas afectadas por las mismas, para que éstos enmienden el texto propuesto.
4. Si no se puede llegar a un acuerdo en torno al texto propuesto, se someterá al Gobernador el texto sugerido, juntamente con la Resolución de la JP, recogiendo las objeciones y será el Gobernador quien tomará la decisión final en torno a la disposición en disputa.

SECCIÓN 1.2 ORGANIZACIÓN DEL CONTENIDO

- a. El contenido de este reglamento está separado en diez capítulos donde se proveen las herramientas para mejorar el manejo de las aguas de escorrentía pluvial siguiendo las mejores prácticas de manejo con el fin de reducir la frecuencia de inundaciones urbanas ocasionadas por las escorrentías pluviales producto del crecimiento de la huella urbana a través de nuevos proyectos. Este reglamento está organizado de la siguiente manera.

1.2.1 Capítulo 1 – Aplicación e Interpretación

- a. Describe la aplicación y la organización de este reglamento.

1.2.2 Capítulo 2 – Planificación e Impacto de los Sistemas de Manejo de Escorrentía Pluvial

- a. Este capítulo presenta temas como el impacto en la cantidad y calidad de la escorrentía pluvial por nuevos proyectos de desarrollo, mejoras a sistemas existentes y por rehabilitación de sistemas pluviales. También presenta la planificación del manejo de las escorrentías pluviales.

1.2.3 Capítulo 3 – Hidrología para la Escorrentía Superficial

- a. Este capítulo presenta métodos, procedimientos y ejemplos para la determinación de variables hidrológicas y los caudales de diseño a ser utilizados en los diferentes componentes de un sistema de alcantarillado pluvial. Se introduce el concepto de cambio climático en el diseño de las obras de desagüe pluviales en armonía con la Ley Núm. 33 del 22 de mayo de 2019 conocida como “Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico”. Se introduce la verificación del funcionamiento del sistema pluvial diseñado mediante simulación hidrológica e hidráulica utilizando aplicaciones computadorizadas.

- 1.2.4 Capítulo 4 – Diseño del Sistema de Drenaje de Carreteras y Calles**
- a. Este capítulo presenta los criterios y las características geométricas e hidráulicas de las cunetas. Incluye, además, los tipos de pocetos y el cálculo de su capacidad hidráulica en zonas de pendiente regular y en condiciones de empozamiento. Este finaliza con una descripción del procedimiento de cálculo para ubicación y dimensionamiento de los pocetos de rejilla y de entrada lateral.
- 1.2.5 Capítulo 5 – Diseño Hidráulico del Sistema Soterrado**
- a. Este capítulo presenta técnicas y criterios de diseño para el sistema soterrado. Además, este capítulo presenta los conceptos de alineamiento horizontal y vertical, gradiente hidráulico y de energía, pérdidas de energía en conductos, y técnicas para determinar la disipación energía en registros y en los tubos.
- 1.2.6 Capítulo 6 – Estructuras de Control de Escorrentías**
- a. Presenta y describe los diferentes tipos de estructuras de control de escorrentía, criterios de diseño, eventos de lluvia a ser simulados y aspectos de seguridad.
- 1.2.7 Capítulo 7 – Manejo de Escorrentías Pluviales en la Zona Cárstica**
- a. Se describe la geología y geomorfología de la zona cárstica en Puerto Rico. En este capítulo se especifican los estudios requeridos, equipos, métodos y procedimiento para estimar la capacidad hidráulica de los sumideros y las estructuras de control de descargas. Se establece el concepto de área de amortiguamiento para la protección de sumideros.
- 1.2.8 Capítulo 8 – Mejoras a Sistemas Pluviales Existentes y Actividades de Rehabilitación**
- a. Este capítulo presenta las diferentes técnicas de rehabilitación de sistemas de alcantarillado pluvial, incluyendo el uso de prácticas de desarrollo de bajo impacto como medida de recuperación de capacidad hidráulica del sistema completo.
- 1.2.9 Capítulo 9 – Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Pluvial**
- a. Este capítulo establece el requisito para el desarrollo de planes de operación y mantenimiento para los sistemas de alcantarillado pluvial. Presenta las técnicas de mantenimiento y problemas más comunes de operación para diferentes estructuras o componentes del sistema de alcantarillado pluvial.

1.2.10

Capítulo 10 – Guía para el Diseño de Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto

- a. Este capítulo introduce el uso de prácticas de diseño para el desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés) para el control y reducción del volumen de escorrentía pluvial en proyectos de desarrollo.

SECCIÓN 1.3 DEFINICIONES DE TÉRMINOS

- a. Los siguientes términos se definen para aclarar el uso intencional de ellos en este reglamento específicamente. Cualquier otra definición provista por otra fuente no prevalecerá a la definición establecida en esta sección de este reglamento. La definición de otros términos, que no han sido explícitamente provistos en esta sección, será, en primer lugar, según la establecen las leyes vigentes promulgadas en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico, en segundo lugar, según la establecen los reglamentos vigentes de la Junta de Planificación de Puerto Rico y, en tercer lugar, según la establecen los diccionarios y léxicos reconocidos de la lengua española y aceptados por las organizaciones autorizadas en este idioma.
- b. Los vocablos o frases que aquí se definen, siempre que sea dentro del contexto de este reglamento, tendrán el significado que se expresa a continuación para cada término.

	Término	Descripción
1.	Accesiones	Todos aquellos materiales o componentes de la corteza terrestre que se incorporan a la zona marítimo-terrestre por la acción del mar, de los ríos y otros cuerpos de agua que desembocan directamente al litoral costanero.
2.	Acto de Dios	Ocurrencia individual o combinada de ciertos eventos tales como lluvia, inundación o escorrentía general, de los cuales resultan daños de origen natural, sin que intervenga la mano del hombre y para los cuales la prudencia humana no puede anticipar ni prevenir sobre los requisitos de diseño establecidos en este reglamento.
3.	Acera	Porción de una vía pública construida generalmente en hormigón u otro material (p. ej. adoquines), a los lados de una calle, carretera, callejones o avenidas, destinado al tránsito de peatones que incluye rampas peatonales para permitir el libre flujo de personas con impedimentos.

	Término	Descripción
4.	Acuífero	Formaciones geológicas subterráneas de roca permeable, fracturas de roca o materiales no consolidados capaz de transmitir un alto rendimiento de agua subterránea a pozos y manantiales.
5.	Agrimensor Licenciado	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la agrimensura en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm.173 del 12 de agosto de 1988, y aquellos ingenieros que están debidamente registrados para ejercer la agrimensura.
6.	Aguas de Escorrentía	Ver “Escorrentía”.
7.	Aguas Pluviales	Toda agua proveniente de la lluvia. Aplica al agua de lluvia antes de ser dividida entre los varios componentes del ciclo hidrológico. Entre estos componentes están la escorrentía superficial, infiltración, evaporación, almacenamiento en depresiones, e intercepción, entre otros.
8.	Aguas Receptoras	Aguas superficiales usualmente contenidas o fluyendo en un cauce, canal, zanja, depresión, río, quebrada, lago, laguna, embalse, entre otros, que reciben las descargas de escorrentías de proyectos de desarrollo de terreno.
9.	Agua Subterránea	El agua presente debajo de la superficie de la Tierra en los espacios porosos del suelo y en las fracturas de las formaciones rocosas.
10.	Aguas Superficiales	Aguas que discurren en forma continua o discontinua por cauces naturales o artificiales, o que surgen continua o discontinuamente en terrenos públicos o privados, o que se encuentran contenidas en lagos, lagunas, represas, o cualquier otro cuerpo de agua sobre la superficie terrestre.
11.	Alcantarillado Pluvial	Ver “Sistema de Alcantarillado Pluvial”.
12.	Análisis Hidráulico	El análisis hidráulico se refiere a la aplicación de las tecnologías para medir, analizar e investigar la corriente de agua, la cantidad de agua, la presión del agua y otros elementos en las tuberías

Término	Descripción
	de agua, conductos y ríos, etc. El análisis hidráulico aplica a flujo a presión como flujo con superficie libre. En el contexto de este reglamento, este análisis es esencial para el diseño del sistema de drenaje pluvial y determinación de la capacidad hidráulica del sistema.
13. Análisis Hidrológico	Se entiende por análisis hidrológico el estudio y la evaluación cualitativa y cuantitativa de las relaciones entre la pluviometría y las propiedades geofísicas de una determinada cuenca, área de captación o área de drenaje, y de los registros que de ellas se han generado, o se generarán, con el fin de determinar los caudales de escorrentía como respuesta a diferentes eventos de lluvia y modificaciones a las características geofísicas de la cuenca hidrográfica.
14. Años de Retorno	Es el inverso de la probabilidad de excedencia para eventos hidrológicos cuando se utilizan valores máximos anuales (serie anual o parcial) en el análisis de frecuencia. Este reglamento utiliza como sinónimos los siguientes términos: periodo de retorno, periodo de recurrencia, recurrencia y frecuencia.
15. Aplicación Computadorizada	Se refiere a programados para computadoras que realizan diferentes cálculos utilizando diversas técnicas de solución y producen resultados tabulados o en forma gráfica. Conocidos comúnmente en Puerto Rico como programas de computadora.
16. Área Cárstica	Ver “Zona Cárstica”.
17. Área de Captación	Ver “Área de Drenaje”.
18. Área de Drenaje	Área superficial de recolección de escorrentías cuyos límites han sido previamente definidos. Las escorrentías capturadas dentro de estos límites drenan hacia un punto único identificado como la salida del área de drenaje o punto de interés.

	Término	Descripción
19.	Arquitecto o Arquitecto Paisajista	Persona natural autorizada a ejercer la profesión de arquitectura en el Gobierno de Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 173 del 12 de agosto de 1988, según enmendada.
20.	Aterramientos	Significa los montículos de sedimentos que el mar deposita en su flujo y reflujo a lo alto del cordón litoral, con la ayuda del viento.
21.	Atlas 14	Ver “NOAA Atlas 14”.
22.	Cárstico, Cárstica	Dicho de una formación caliza. Formación geológica producida por la acción erosiva o disolvente del agua.
23.	Calle Inundable	Calle donde ocurre una concentración de escorrentía tal que se exceden los criterios máximos permitidos del ancho de la superficie libre del agua, la profundidad máxima del agua y el almacenamiento en las zonas de depresión según descritos en el Capítulo 4 de este reglamento.
24.	Cambio Climático	Para los propósitos de este reglamento, el término Cambio Climático se refiere a cambios recientes del clima atribuidos directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. La Ley Núm. 33 del 22 de mayo de 2019, conocida como “Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico”, añade que es una variación estadística importante en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado.
25.	Canal	Cauce artificial construido para transportar agua, conectar dos o más cuerpos de agua o servir como vía de navegación.
26.	Capacidad de Infiltración	La tasa de infiltración máxima a la que un suelo determinado puede infiltrar el agua acumulada sobre su superficie. Se expresa en término de longitud por unidad de tiempo, p. ej., pulgadas por hora (pulg/hr) o centímetros por hora (cm/hr).

	Término	Descripción
27.	Capacidad Hidráulica del Sumidero	En este reglamento, se refiere al volumen máximo de agua de escorrentía que un sumidero, con abertura o sin abertura, puede manejar en su estado natural sin afectar su integridad, tanto estructural como en comportamiento hidráulico, químico o biológico, y sin que las aguas acumuladas excedan la elevación máxima de su depresión. El volumen manejado de esta forma puede traducirse en caudal al incorporar la variable tiempo en el análisis.
28.	Capacidad Hidráulica del Tubo	Caudal máximo que puede transportar una tubería, el cual depende de sus dimensiones, material y altura del gradiente de energía a la entrada y la salida del conducto.
29.	Capacidad Hidráulica Segura	Capacidad hidráulica que cumple con todos los parámetros de diseño y seguridad para cualquier estructura o componente del sistema de drenaje pluvial.
30.	Capacidad hidráulica segura remanente del sistema existente	Es aquella capacidad hidráulica segura que no ha sido utilizada en un sistema existentes (charcas, tubos, canales, cunetas, pocetos y cualquier otra estructura del sistema pluvial).
31.	Carga Hidráulica	Es la energía por unidad de peso en un recipiente o sección de un conducto equivalente a la elevación de la superficie libre del líquido donde la presión es atmosférica y que se mide a partir de un nivel de referencia. La carga hidráulica tiene dimensiones de longitud (metros, pies, etc.).
32.	Carga de Energía	Es la elevación de la carga hidráulica más la carga de energía cinética.
33.	Carga de Energía Cinética	Es la energía por unidad de peso correspondiente a la velocidad promedio del fluido. Es proporcional a la velocidad promedio elevada al cuadrado y tiene dimensiones de longitud (metros, pies, etc.).
34.	Cauce	El lecho de un río, quebrada, riachuelo u otro cuerpo de agua por donde naturalmente discurren las aguas de escorrentía.
35.	Caudal	Volumen de agua que pasa por una sección transversal de un conducto, cauce, o canal por

Término	Descripción
	unidad de tiempo. Sus unidades en el sistema SI son metros cúbicos por segundo (m^3/s o mcs) y en el sistema USC son pies cúbicos por segundo (p^3/s o pcs). Es sinónimo de flujo volumétrico.
36. Caudal de Diseño	Caudal usado para el dimensionamiento del sistema de alcantarillado pluvial el cual se asocia a una probabilidad de excedencia o periodo de recurrencia del evento de lluvia de diseño.
37. Comunidad Participante	Comunidad con autoridad local sobre usos de terrenos que adopta y hace cumplir las disposiciones de este reglamento.
38. Condición Postdesarrollo	Se refiere a las condiciones hidrológicas e hidráulicas del terreno posterior al desarrollo. Estas condiciones han sido modificadas por las actividades asociadas al desarrollo de terrenos.
39. Condición Predesarrollo	Se refiere a las condiciones hidrológicas e hidráulicas del terreno previo al desarrollo, o en estado natural, o condición existente antes del desarrollo de terrenos.
40. Control de Escorrentía	Es la utilización de aquellas medidas calificadas como “mejores prácticas de manejo” que permiten el manejo y control de las escorrentías al encausar, transportar, dirigir, dispersar el flujo de agua, detener, retener y reducir la razón o volumen de la escorrentía producida por un desarrollo de terreno. Estas medidas incluyen, pero sin limitar a los siguientes, prácticas de desarrollo de bajo impacto, sistemas mayor y menor, canales y la utilización de estructuras de detención y retención como, por ejemplo, charcas y tanques.
41. Corona del Tubo	Elevación del punto más alto del diámetro interior de un conducto circular, ovalado, cuadrado o cualquier otra geometría cerrada.
42. Cuenca Hidrográfica	Es cualquier área de tierra en la que las precipitaciones se acumulan y drenan hacia una salida común a través de los cauces de los ríos y tributarios contenidos en esta. En este reglamento es sinónimo de cuenca.
43. Cuerpos de Agua	Este término incluye las aguas superficiales, las subterráneas, las costaneras y cualquiera otra

Término		Descripción
		dentro de la jurisdicción del Estado Libre Asociado de Puerto Rico.
44.	Cuneta	Parte de la calle, normalmente ubicada en un costado, reservada para recoger y transportar las aguas de escorrentía pluvial.
45.	Curva de Remanso	Es la curva suave del perfil de la superficie libre del agua que se forma a lo largo de un canal o una cuneta. Presume que el flujo es gradualmente variado.
46.	Curva IDF	Una curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF). Es una función matemática que relaciona la intensidad de las lluvias con su duración y frecuencia. También se puede describir como una representación gráfica de la probabilidad de que se produzca una determinada intensidad de lluvia.
47.	Custodio	Persona, empleado, oficina, departamento, entidad, ya sea pública o privada, a cargo del cuidado y vigilancia de la operación y mantenimiento de un sistema de alcantarillado pluvial. Tiene las mismas funciones y responsabilidad del operador.
48.	Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA)	Organismo gubernamental creado por la Ley Núm. 23 de 20 de junio de 1972, según enmendada, conocida como Ley Orgánica del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales.
49.	Desarrollo de Terrenos	Mejoras hechas por el hombre a terrenos, consistentes en movimientos de tierras para rellenar o excavar y otras obras de urbanización como afirmado, pavimentación, encintados, aceras, incluyendo, pero no limitado a, estructuras e instalaciones de servicios públicos tales como sistemas de distribución de agua, alcantarillados pluviales y sanitarios, alumbrado y distribución de energía eléctrica y líneas telefónicas.
50.	Descarga de aguas	Cantidad de efluente expresado en volúmenes totales o volumen por unidad de tiempo. Es sinónimo de caudal o flujo volumétrico.

	Término	Descripción
51.	Diámetro del Tubo	Distancia recta que une dos puntos opuestos en la pared interior del tubo pasando por su centro.
52.	Diseñador	Ingeniero, arquitecto o arquitecto paisajista licenciado, que prepara, firma y sella un diseño.
53.	Distribución Temporal de la Lluvia	Define la variación con respecto al tiempo de la precipitación de la lluvia. Particularmente, define la distribución en el tiempo de las diferentes cantidades (volúmenes) en que se puede dividir el volumen total del evento de lluvia. Se expresa en volumen (profundidad, p. ej. milímetros o pulgadas) con respecto al tiempo. También se puede expresar en términos de intensidad de lluvia (volumen/tiempo, p. ej. mm/hr o pulg/hr) con respecto al tiempo.
54.	Disipador de Energía	Estructura cuyo propósito es disipar energía cinética, reducir las velocidades del agua y prevenir daños en las estructuras hidráulicas.
55.	Duración de la Lluvia	Periodo de tiempo en el cual ocurre un evento de lluvia.
56.	Dueño	Significa la persona, natural o jurídica, con título sobre la propiedad mueble o inmueble, según corresponda. Incluye, sin limitarse: ambos cónyuges, todas las personas que adquieran una propiedad en común proindiviso o por herencia, cooperativas de vivienda, corporaciones de dividendos limitados, y asociaciones de fines no pecuniarios, entre otros. El dueño, en ocasiones, puede hacer las funciones de “operador” según se define en esta sección (ver el ítem 93).
57.	Elemento de Contención Transversal	Represa de detención que reduce la velocidad del flujo y estanca el agua, permitiendo que los sedimentos se depositen. Construido con hormigón, rocas o productos patentados colocados transversalmente en un canal o zanja natural o artificial.
58.	Emisario	El emisario es el conducto que descarga las aguas pluviales provenientes de un proyecto en su lugar final de salida. La descarga puede ser hacia un cuerpo de agua o predio de terreno preparado en forma tal que cumpla con los requerimientos de las normas de este reglamento.

	Término	Descripción
59.	Encintado	El borde de una acera. Usualmente forma parte de la pared de la cuneta en calles de urbanizaciones.
60.	Energía Específica	Es la energía por unidad de peso medida a partir del fondo del canal o tubería.
61.	Energía Cinética	Energía asociada a cualquier cuerpo que se encuentra en movimiento. En el caso del agua, esta existe mientras el agua esté en movimiento.
62.	Entidades Gubernamentales Concernidas	Se refiere colectivamente a la Junta de Planificación; la Oficina de Gerencia de Permisos (OGPe); Administración de Servicios Generales (ASG); Autoridad de Acueductos y Alcantarillados (AAA); Autoridad de Carreteras y Transportación (ACT); Autoridad de Energía Eléctrica (AEE); Autoridad de Puertos (AP); Comisión de Juegos del Gobierno de Puerto Rico (CJPR); Compañía de Fomento Industrial (PRIDCO); Compañía de Turismo (CT); Departamento de Agricultura (DA); Departamento de Asuntos al Consumidor (DACO); Departamento de Desarrollo Económico y Comercio (DDEC); Departamento de Educación (DE); Departamento de Hacienda (DH); Departamento de la Familia (DF); Departamento de la Vivienda (DV); Departamento de Recreación y Deportes (DRD); Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA); Departamento de Salud (DS); Departamento de Seguridad Pública (DSP), particularmente el Negociado de la Policía (NPPR) y Negociado del Cuerpo de Bomberos (NCB); Departamento de Transportación y Obras Públicas (DTOP); Instituto de Cultura Puertorriqueña (ICP); Junta Reglamentadora de Servicio Público (JRSP), particularmente el Negociado de Telecomunicaciones (NET) y Negociado de Transporte y Otros Servicios Públicos (NTSP); y la Oficina Estatal de Conservación Histórica (OECH), y cualquier otra agencia o instrumentalidad que el Gobernador determine mediante Orden Ejecutiva y que tenga injerencia sobre el proceso de evaluación de solicitudes

Término	Descripción
	para el desarrollo y uso de terrenos, consultas, permisos, licencias, certificaciones, autorizaciones o cualquier trámite para la operación de negocios en Puerto Rico o que incida de forma directa o indirecta en dicha operación.
63. Escorrentía	El flujo sobre superficies o sobre el terreno (superficies permeables o impermeables), producto de las aguas pluviales, durante y después de eventos de lluvia, o excedentes de aguas de riego, y que fluye por gravedad.
64. Escorrentía Directa	Es la escorrentía que produce la lluvia efectiva. Se establece que la escorrentía directa es igual en volumen a la lluvia efectiva. En otras palabras, un centímetro de lluvia efectiva produce un centímetro de escorrentía directa.
65. Escorrentía Directa Unitaria	Es la escorrentía directa con un valor de un centímetro (o una pulgada).
66. Estanque de Biorretención	Áreas de depresión donde se facilita la infiltración del agua colocando un suelo permeable bajo una cubierta vegetal y un sistema de drenaje colector de arena, gravilla y a veces tuberías. Estos estanques facilitan la eliminación de la contaminación de las aguas mediante el uso de la vegetación.
67. Estructuras de Control de Escorrentía	Estructuras diseñadas para encausar, transportar, dirigir, dispersar las aguas, disipar la energía, detener, retener, reducir, almacenar, desviar la razón o volumen de la escorrentía producida por un desarrollo de terreno con el propósito de ejercer control sobre el volumen, cantidad, caudal y velocidad de los flujos de escorrentía pluvial en la superficie de la tierra. Ejemplos de estas estructuras son, sin limitarse a esta lista, canales, zanjas, tubos, cunetas, calles, pocetos, registros, charcas, tanques, estaciones de bombeo, disipadores de energía, etc.
68. Evento de Lluvia de Diseño	Es el evento de lluvia que produce el caudal de diseño. Este evento de lluvia se caracteriza por su duración y su probabilidad de excedencia,

Término		Descripción
		según establecido en las normas de este reglamento.
69.	Eventos de Lluvia Significativos	Eventos de lluvia de diseño o históricos con probabilidad de excedencia mayor de 50 años (determinados utilizando el Atlas 14 de la NOAA) ocurridos en el sitio del proyecto.
70.	FHWA	Siglas en inglés para la Administración Federal de Autopistas de los Estados Unidos.
71.	Flujo Concentrado de poca Profundidad o Flujo Concentrado poco Profundo	Ocurre después que el flujo en capa no se puede sostener por sí mismo por mayor distancia. El flujo en capa suele convertirse en un flujo concentrado poco profundo que se acumula en barrancos, pequeñas colinas y cárcavas. Se supone que el flujo concentrado poco profundo no tiene un canal bien definido y tiene una profundidad de flujo de 3 a 15 centímetros de acuerdo con el NRCS [1].
72.	Flujo en Canal Abierto	Flujo de agua a través de un canal abierto con una superficie libre de agua expuesta a la presión atmosférica.
73.	Flujo en Capa	Conocido en inglés como “Sheet Flow” - Flujo que adopta la forma de una película fina sobre superficies de suelo o roca relativamente lisas y que no se concentra en los pequeños canales producto de la erosión. El flujo superficial se produce como una lámina discontinua de agua con hilos de flujo que divergen y convergen alrededor de elevaciones microtopográficas, rocas y vegetación. También se conoce como “flujo en lámina”.
74.	Flujo Gradualmente Variado	Corresponde a los perfiles de agua cuya profundidad varía suavemente, obtenidos cuando se presumen canales con pendientes pequeñas, distribución de presiones hidrostáticas y pendiente de pérdidas de energía calculadas a partir de ecuaciones para flujo uniforme.
75.	Flujo Volumétrico	Sinónimo de caudal o descarga.
76.	Flujo Uniforme	Condición de flujo en canales donde la línea de energía, superficie del agua y la superficie del fondo del canal son paralelas.

	Término	Descripción
77.	Frecuencia	Es el inverso de la probabilidad de excedencia para eventos hidrológicos cuando se utilizan valores máximos anuales (serie anual o parcial) en el análisis de frecuencia. Este reglamento utiliza como sinónimos los siguientes términos: años de retorno, periodo de retorno, periodo de recurrencia y recurrencia.
78.	Gavión	Cesta metálica conteniendo piedra u otro material sólido para proteger una superficie.
79.	Geólogo Licenciado	Persona natural con la correspondiente preparación académica en la profesión de la Geología, autorizada a ejercer dicha profesión en el Estado Libre Asociado de Puerto Rico bajo la Ley Núm. 163 del 26 de agosto de 1996, según enmendada, y que posee una licencia expedida por la Junta Examinadora de Geólogos de Puerto Rico y figure inscrito en el Registro Profesional de la misma.
80.	Gradiente de Energía	Es la pendiente de la línea que une los valores de las elevaciones de la carga de energía a lo largo de un canal. Estos puntos unidos forman la Línea del Gradiente de Energía.
81.	Gradiente Hidráulico	Es la pendiente de la línea que une los valores de las elevaciones de la carga hidráulica a lo largo de un canal. Estos puntos unidos forman la Línea del Gradiente Hidráulico.
82.	Hidrograma	Gráfica que representa la variación de información hidrológica (caudal, nivel de agua, sedimento, etc..) a través del tiempo.
83.	Hidrología	Para propósito de este reglamento, la hidrología es la rama de la ingeniería civil que se ocupa del estudio de los recursos de agua. También se denomina comúnmente como ingeniería de recursos de agua. La hidrología puede definirse como la especialización multidisciplinaria de la ingeniería civil en la ciencia aplicada que se ocupa del estudio de la presencia, distribución, movimiento y propiedades del agua en la tierra o bajo la superficie terrestre o en la atmósfera.
84.	Hidrólogo	Para propósito de este reglamento, un hidrólogo es un ingeniero civil licenciado y especializado

Término	Descripción
	mediante preparación académica en una institución de educación de alto nivel debidamente acreditada y que se dedica a la hidrología aplicando la información científica sobre las propiedades, la distribución y la circulación del agua en lugares concretos a problemas del mundo real, como el abastecimiento de agua a una ciudad, el tratamiento de las aguas residuales, la prevención de la erosión y sedimentación, el manejo de los cauces de agua y la protección de las zonas costeras, entre otros. Para propósitos de este reglamento, el término hidrólogo es sinónimo de ingeniero de recursos de agua.
85. Hidro-planeo	Hidro-planeo es la pérdida de tracción que ocurre cuando se maneja un vehículo sobre una superficie cubierta con agua. El hidro-planeo en carreteras inundadas aumenta la posibilidad de que el vehículo se deslice y que el conductor pierda el control.
86. Hietograma	Gráfico (diagrama de barra) muestra la variación de la intensidad de la lluvia con respecto al tiempo.
87. Huella Urbana	Superficie de suelo cuyo uso esté compuesto de urbanizaciones, infraestructuras entre otros que permiten el desarrollo de actividad económica.
88. Infiltración	El proceso mediante el cual el agua sobre la superficie del suelo es absorbida durante los eventos de lluvia. Ocurre en la zona superior del suelo donde se ubican las raíces de las plantas. Sirve para suplir la deficiencia de humedad en esta zona.
89. Ingeniero de Recursos de Agua	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la ingeniería en Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 173 del 12 de agosto de 1988, según enmendada, especializada en la aplicación de métodos de análisis hidrológicos, hidráulicos y de aguas subterráneas relacionados con la planificación y el diseño de estructuras hidráulicas de saneamiento, suministro de agua, control de inundaciones y escorrentía, así como diferentes

Término	Descripción
	tipos de estructuras hidráulicas; control del flujo y la calidad de las aguas subterráneas y superficiales; análisis de viabilidad y de impacto ambiental para diversos proyectos relacionados con el agua; y diseños de estructuras hidráulicas anexas, sin limitarse exclusivamente a esta lista.
90. Ingeniero Estructural	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la ingeniería en Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 173 del 12 de agosto de 1988, según enmendada, especializada en el análisis, diseño y simulación del comportamiento de edificios, puentes y otros tipos de estructuras.
91. Ingeniero Geotécnico	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la ingeniería en Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 173 del 12 de agosto de 1988, según enmendada, especializada en el estudio y análisis de las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas de los suelos y rocas, y de su interacción con las construcciones, edificaciones y obras que se cimentan sobre los mismos.
92. Ingeniero Licenciado	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la ingeniería en Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 173 del 12 de agosto de 1988, según enmendada.
93. Intensidad de Lluvia	Es la razón, o tasa, a la cual se precipita la lluvia. Se mide con unidades de longitud y tiempo, p.ej., mm/hr o pulg/hr.
94. Inundación	Acción o efecto de quedar un terreno cubierto por las aguas pluviales como consecuencia de haberse excedido la capacidad hidráulica de un sistema de alcantarillado pluvial, o por la creciente de los ríos, marejadas o por cualquier otra fuerza de la naturaleza.
95. Invertida del Tubo	Es la elevación del punto más bajo del diámetro interior de un conducto. A veces referido como el pelo de agua.
96. Jardín Pluvial	Un jardín pluvial, o jardín de lluvia, es una depresión vegetada poco profunda, que puede ser natural o artificial, y que tiene como objetivo

Término		Descripción
		infiltrar parte del agua de escorrentía que discurre sobre el terreno.
97.	Línea de Costa	La línea de costa es la línea en la superficie de la tierra que define el límite entre el mar y la tierra firme.
98.	Litoral Costanero	Franja de tierra a la orilla o costa del mar.
99.	Lluvia Acumulada	La lluvia acumulada es la que resulta de la acumulación de lluvia hasta un tiempo específico dentro de la duración de la lluvia. Cuando el periodo específico de tiempo es igual a la duración de la lluvia, entonces se tiene la lluvia total. El término se puede aplicar a la lluvia total como a la lluvia efectiva.
100.	Lluvia de Diseño	Es el evento de lluvia asociado a las recurrencias y duraciones establecidas en este reglamento (ver Tabla 3.1)
101.	Lluvia Efectiva	Es la lluvia total después de extraer las pérdidas de lluvia. La duración de la lluvia efectiva es diferente (de menos duración) a la duración de la lluvia total.
102.	Lluvia Total	Es la lluvia acumulada durante la duración total de un evento de lluvia.
103.	“Low Impact Development”	LID, véase “Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto”.
104.	Mantenimiento Correctivo	Mantenimiento considerado como uno de carácter reactivo que incluye el mantenimiento de emergencia (cuando el equipo o sistema colapsa).
105.	Mantenimiento de Emergencia	Es un mantenimiento correctivo que atiende situaciones cotidianas (bloqueo de conductos con objetos grandes, rupturas, etc.) y situaciones extraordinarias debido a eventos de lluvia extraordinaria, huracanes, terremotos y otros eventos naturales difíciles de predecir.
106.	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento de tipo proactivo caracterizado por la existencia de un plan de operación y mantenimiento que contiene una serie de actividades de mantenimiento programadas con un enfoque sistemático.

	Término	Descripción
107.	Mantenimiento Proactivo	Es una técnica enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones. Esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas, no los efectos.
108.	Mantenimiento Reactivo	Es el tipo de mantenimiento en el que se realizan las acciones tras un fallo en equipos, componentes o instalaciones, para corregir ese fallo o avería, dejando de nuevo el equipo, componente o instalación en estado productivo.
109.	Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto	LID por sus siglas en inglés. Se refiere a una serie de sistemas, estructuras y prácticas de manejo de las aguas pluviales, especialmente con el propósito de reducir el volumen de escorrentía y evitar el deterioro de la calidad del agua. Estos sistemas y prácticas usan, o imitan, los procesos naturales que promueven la infiltración, evapotranspiración, o manejo de aguas pluviales para asegurar la retención, detención y reducción del volumen de las escorrentías pluviales. El LID se caracterizan por la utilización de dispositivos de control de aguas pluviales a menor escala, tales como sistemas de estanques de biorretención, jardines pluviales, pavimentos permeables, techos verdes, y zanjas vegetadas, entre otros, ubicados en o cerca de la fuente de escorrentía.
110.	Modelaje	Técnica mediante la cual se organizan los componentes de un modelo y se establece la relación entre unos y otros.
111.	Modelo Numérico	Un modelo numérico es un conjunto de expresiones matemáticas que describen el comportamiento de un sistema físico, químico o biológico. Un sistema físico puede ser descrito por una familia de ecuaciones las cuales pueden resolverse utilizando cálculo computacional y ser codificado para uso en ordenadores (computadoras), p. ej., modelos hidrológicos computadorizados.
112.	Nivel Piezométrico	Es la elevación, el nivel o la altura a la cual sube un líquido debido a la presión disponible en el recipiente que lo contiene. En el caso de

Término	Descripción
	conductos con superficie libre, el nivel piezométrico coincide con el nivel de la superficie del agua. Se aplica mayormente al nivel de las aguas subterráneas.
113. Número de Froude (Fr)	Parámetro adimensional que mide la magnitud relativa de la fuerza de inercia y la fuerza gravitacional en un flujo. Se utiliza como criterio para dividir el flujo de aguas en flujos subcrítico ($Fr < 1$), crítico ($Fr = 1$) o supercrítico ($Fr > 1$).
114. Número de Curva (CN)	Parámetro que caracteriza el potencial de generación de escorrentía de un suelo. Entre las características del suelo que definen el Número de Curva se encuentran la cubierta del suelo, condición hidrológica, contenido de humedad del suelo, grupo hidrológico del suelo, pendientes, entre otros. Este parámetro se utiliza en el modelo empírico de infiltración desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos (antes Servicio de Conservación de Suelos) que permite calcular la escorrentía directa basado en la lluvia acumulada de un evento de lluvia.
115. NRCS	Servicio de Conservación de Recursos Naturales ("Natural Resources Conservation Service" o NRCS por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura Federal de los Estados Unidos de América. Anteriormente conocido como Servicio de Conservación Suelos ("Soil Conservation Service" o SCS, por sus siglas en inglés).
116. NOAA	Siglas en inglés para la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (US National Oceanic and Atmospheric Administration).
117. NOAA ATLAS 14	Es un proyecto del Centro de Estudios para Diseño Hidrometeorológico (HDSC, por sus siglas en inglés) del Servicio Nacional de Meteorología que provee información de las frecuencias de lluvia para los Estados Unidos de América y sus territorios. Los estimados son utilizados para el diseño, construcción y

Término	Descripción
118. Operador	operación de la infraestructura para soportar las fuerzas debidas a altas precipitaciones e inundaciones. Persona natural o jurídica que, en calidad de dueño, propietario, administrador, gerente, oficial, socio, representante autorizado o en cualquier capacidad directiva, que opera o mantiene parcial o totalmente y que tiene el control de las actividades contempladas en este reglamento.
119. Pavimento Permeable	Tipo de pavimento que tiene alta porosidad y que permite el paso del agua hacia el subsuelo. Según el material que lo compone se puede llamar concreto o asfalto poroso o permeable.
120. Pelo de Agua	Nivel más bajo de un sardinel, cuneta, tubo, conducto o canal por donde discurren las aguas. Equivalente a la elevación de invertida.
121. Percolación	La percolación es el movimiento vertical del agua a través de las partículas o poros del suelo o rocas fracturadas hacia la zona de agua subterránea. El proceso ocurre en la zona no-saturada del suelo. Suple agua a los acuíferos subterráneos. Es diferente a infiltración.
122. Perfil del Agua	Línea o curva que une los puntos de elevación de la superficie del agua en un canal o cauce.
123. Pérdida de Lluvia	La pérdida de lluvia se refiere a la extracción de aquella cantidad (volumen) de lluvia total perdida en los procesos de interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración. El resultado de la extracción de este volumen (pérdidas) produce la lluvia efectiva.
124. Periodo de Recurrencia	Es el inverso de la probabilidad de excedencia para eventos hidrológicos cuando se utilizan valores máximos anuales (serie anual o parcial) en el análisis de frecuencia. Este reglamento utiliza como sinónimos los siguientes términos: años de retorno, periodo de retorno, recurrencia y frecuencia.
125. Periodo de Retorno	Es el inverso de la probabilidad de excedencia para eventos hidrológicos cuando se utilizan valores máximos anuales (serie anual o parcial)

Término	Descripción
	en el análisis de frecuencia. Este reglamento utiliza como sinónimos los siguientes términos: años de retorno, periodo de recurrencia, recurrencia y frecuencia.
126. Pérdida de Energía	Conversión de energía mecánica en calor en forma irreversible. Se debe principalmente a la fricción de los fluidos con las paredes y el fondo del canal (pérdidas por fricción) y a los cambios en la geometría y obstáculos en un cauce (pérdidas menores o locales).
127. Plan de Usos de Terreno	Documento de política pública adoptado por la Junta de Planificación y, que dependiendo de su alcance geográfico y propósito, designará la distribución, localización, extensión e intensidad de los usos del suelo y otros elementos, tales como: la infraestructura para propósitos urbanos, rurales, agrícolas, de explotación minera, bosques, conservación y para la protección de los recursos naturales, recreación, transportación y comunicaciones, generación de energía y para actividades residenciales, comerciales, industriales, educativas, públicas e institucionales, entre otros.
128. Plan Territorial	Plan de Ordenación Territorial que abarca un municipio en toda su extensión territorial, que enuncia y dispone la política pública sobre su desarrollo y uso del suelo.
129. Planificador Profesional Licenciado	Persona natural debidamente autorizada a ejercer la profesión de la planificación en Puerto Rico, a tenor con lo dispuesto en la Ley Núm. 160 de 23 de agosto de 1996, según enmendada.
130. Plano de Construcción	Dibujos con detalles, notas y leyendas, hechos a una escala conveniente, que representan gráficamente la naturaleza y extensión de la obra o construcción a realizarse y que requieren ser firmados por el diseñador que los preparó o confeccionó.
131. Plano de Construcción "As Built"	Dibujos con detalles, notas y leyendas, hechos a una escala conveniente, que representan gráficamente la naturaleza y extensión de la obra o construcción ya realizada.

Término	Descripción
132. Plano de Diseño	Los planos de situación que consisten en dibujos que representan el solar de la obra de construcción respecto a los puntos cardinales. Estos dibujos representan los terrenos, edificios o estructuras colindantes al solar, así como las calles carreteras o accesos vehiculares al mismo.
133. Plano de Sitio	Plano a escala que indica las dimensiones y configuración del solar y la forma geométrica y dimensiones de la obra proyectada. Se indicarán los patios propuestos, servidumbres y se identificará cualquier edificio o estructura, incluyendo líneas aéreas y soterradas, torres, postes y otros artefactos propios de las líneas de transmisión o distribución de energía eléctrica ubicadas en el solar y colindantes a este, indicando su uso presente y futuro si se proyecta algún cambio de uso. Se marcarán los espacios de estacionamientos de vehículos que se proponen en el solar y se identificarán las calles, carreteras y los accesos vehiculares existentes o propuestos con sus dimensiones. Además, se presenta la localización del proyecto con respecto a los puntos cardinales.
134. Poceto	Estructura que permite el acceso de las aguas pluviales desde la superficie hacia el interior del sistema soterrado de tuberías o hacia alguna práctica LID. Puede ser del tipo de rejillas o aberturas laterales en el encintado de la acera.
135. Pozo de Drenaje	Una perforación en el suelo que se utiliza para drenar por gravedad las aguas superficiales de escorrentía hacia el subsuelo o cavidades subterráneas. La perforación está protegida por una camisilla con rejillas que protege contra derrumbes a la vez que permite el flujo de agua hacia su exterior.
136. Pozo de Inyección	Una perforación en el suelo que se utiliza para drenar las aguas superficiales de escorrentía hacia el subsuelo o cavidades subterráneas utilizando la presión creada por un sistema de bombas. La perforación está protegida por una camisilla con rejillas que protege contra

Término	Descripción
137. Pozo de Registro	derrumbes a la vez que permite el flujo de agua hacia su exterior. Estructura que permite el acceso del personal y de equipo de mantenimiento al sistema de tuberías soterradas. Esta estructura permite la conexión entre tubos, ya sea para utilizar otro material, diámetro, pendiente, o cambio de dirección. El acceso de equipo y personas se logra retirando la tapa de acero en el tope. Conocido también por su equivalente en inglés como “manhole”.
138. Probabilidad de Excedencia	Es la probabilidad de que un evento hidrológico sea igualado o excedido en un año cualquiera. El inverso de la probabilidad de excedencia es el Periodo de Retorno.
139. Profesional Autorizado (PA)	Agrimensores, arquitectos, ingenieros, geólogos y planificadores, todos licenciados, que obtengan la autorización, así como cualquier profesional licenciado en áreas relacionadas a la construcción y que cumplen con los requisitos que establezca, mediante reglamento, la Oficina de Gerencia de Permisos (OGPe).
140. Profundidad Crítica	Es el nombre de la profundidad correspondiente a la condición de mínima energía específica en un canal. Corresponde a un valor unitario del Número de Froude.
141. Profundidad de Lluvia	La cantidad de lluvia (volumen) que cae sobre una superficie de área unitaria durante un evento de lluvia. Se mide con unidades de longitud y se expresa en milímetro, centímetros o pulgadas. También se le conoce como lluvia de punto.
142. Profundidad Normal	Es el nombre de la profundidad del agua obtenida cuando se usan las aproximaciones para flujo uniforme.
143. Propietario	Persona, oficina, departamento, agencia, ya sea público o privado, que tiene derecho de propiedad sobre unos, o todos, los componentes de un sistema de alcantarillado pluvial.
144. Proyecto	Toda propuesta sobre uso de terrenos, incluyendo construcción o instalación de infraestructura o de cualquier otro aditamento,

Término	Descripción
145. Prueba de Infiltración	consultas de ubicación, planos de construcción, lotificaciones, urbanizaciones y construcción de edificios o estructuras. Estudio de campo que provee información sobre la tasa de infiltración de la superficie del suelo. Los resultados mostrarán la variación de la tasa de infiltración con respecto al tiempo.
146. Prueba de Percolación	Estudio de campo que provee información sobre la tasa de percolación del subsuelo. Los resultados mostrarán la variación de la tasa de percolación con respecto al tiempo.
147. Punto de Interés	En el diseño del sistema pluvial, el punto de interés es aquel lugar donde se ha de determinar el caudal de diseño, usualmente en el punto de descarga del área de captación. Puede ser, entre otros, un poceto, la entrada a una charca o una estructura de control, etc.
148. Rastreo Hidrológico	También conocido como “enrutamiento” hidrológico. Son aquellos métodos de cálculo de altura y velocidad de la propagación de ondas en un cuerpo de agua que permite realizar un balance del flujo de entrada, flujo de salida y almacenamiento utilizando la ecuación de continuidad y una versión simplificada de la ecuación de cantidad de movimiento lineal.
149. Rastreo Hidráulico	También conocido como “enrutamiento” hidráulico. Son aquellos métodos de cálculo de altura y velocidad de propagación de ondas en un cuerpo de agua donde se utilizan todos los términos de las ecuaciones de continuidad y cantidad de movimiento lineal para flujo no permanente en canales abiertos. Se conoce también como rastreo o enrutamiento dinámico.
150. Recurrencia	Es el inverso de la probabilidad de excedencia para eventos hidrológicos cuando se utilizan valores máximos anuales (serie anual o parcial) en el análisis de frecuencia. Este reglamento utiliza como sinónimos los siguientes términos: años de retorno, periodo de retorno, periodo de recurrencia y frecuencia.

Término	Descripción
151. Recursos Naturales	Son aquellos bienes de naturaleza, tales como: el agua, el aire, la luz solar, el mar, las playas, la tierra (el suelo), los bosques, la vida silvestre, los minerales y los recursos naturales combustibles, entre otros; los cuales poseen una importancia singular para la especie humana por ser fuente de materia prima, alimento, energía y para la satisfacción de otras de sus necesidades físicas y espirituales.
152. Rehabilitación	Referente a la rehabilitación de un sistema de alcantarillado pluvial o algún componente de este sistema: Conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de la actividad o función perdida o disminuida por el tiempo, desgaste o colapso. Tiene como objetivo modernizar los sistemas de alcantarillado pluvial existente, corregir deficiencias de diseño, recuperar o aumentar la capacidad hidráulica del sistema, mitigar el incremento de las escorrentías, y mejorar el rendimiento de recarga e infiltración en el suelo.
153. Reparación	Referente a la reparación de un sistema de alcantarillado pluvial o algún componente de este sistema: Acción y efecto de reparar algún componente roto, colapsado o estropeado, de este sistema. Consiste en reemplazar un componente colapsado por otro de igual dimensión y material o la reparación “in-situ” de cualquier otro componente pluvial del sistema mayor o menor que no puede ser reemplazado.
154. Represa de Detención	Ver “Elemento de Contención Transversal”.
155. Salto Hidráulico	Fenómeno hidráulico que ocurre durante la transición de flujo supercrítico a flujo subcrítico mediante el levantamiento abrupto de la superficie del agua y atravesando la profundidad crítica.
156. Simulación	Ejecución de un modelo. Operación mediante la cual se utiliza un modelo para analizar diferentes escenarios y obtener resultados para el estudio y comprensión de la dinámica del sistema modelado.

	Término	Descripción
157.	Sistema	Se refiere al sistema de alcantarillado pluvial y a cualquiera de las clasificaciones de estos sistemas.
158.	Sistema de Alcantarillado Pluvial	Un sistema de alcantarillado pluvial es un conjunto de estructuras y accesorios como, pero sin limitarse a los siguientes, tuberías, conductos, alcantarillas, colectoras, zanjias, canales, quebradas, ríos, tajeas, calles, estructuras de retención o detención, estaciones de bombeo y otras instalaciones complementarias que funcionan como una unidad y que recogen las aguas de escorrentía de precipitaciones pluviales dentro y a través de un área de captación, las transportan y disponen de ellas en el punto final de descarga, permitiendo así su manejo y control para prevenir daños materiales y humanos.
159.	Sistemas de Biorretención	Sistemas que utilizan vegetación seleccionada en combinación con procesos de filtración que promueven la detención, infiltración y evapotranspiración de las aguas de escorrentía. Incluye las celdas de biorretención, jardines pluviales, cajas jardineras y zanjias vegetadas.
160.	Sistema Mayor de Alcantarillado Pluvial	El sistema mayor lo forman los elementos que permiten el manejo del sistema cuando se exceda la capacidad hidráulica del sistema menor. Usualmente se diseñan para eventos de gran magnitud. Para los efectos de las normas de este reglamento, los eventos para diseñar el sistema mayor son aquellos que tienen una probabilidad de excedencia de 1% (periodo de retorno de 100 años). El sistema mayor lo forman estructuras de detención y retención, calles, tuberías y canales que dirigen las aguas hacia esas estructuras u otros desagües diseñados para eventos de estas magnitudes.
161.	Sistema Menor de Alcantarillado Pluvial	Es la porción del sistema de alcantarillado pluvial diseñada para transportar la escorrentía correspondiente a eventos de probabilidad de excedencia menores o iguales a 50 años. El sistema menor consiste en cunetas, encintados, pocetos, tuberías, pozos de registro, canales y

	Término	Descripción
		elementos de diseño de bajo impacto dentro del sistema de drenaje pluvial.
162.	Sistemas Subterráneos de Drenaje	Los tubos, registros, cajas de uniones (“Junction box”), pocetos, estructuras de salida y entrada, y otras estructuras subterráneas.
163.	Sistemas Superficiales de Drenaje	Son las cunetas, canales, charcas y zanjas que transportan el agua sobre la superficie del terreno.
164.	Suelo Nativo	Se refiere al suelo natural del sitio y que no ha sido alterado o modificado previamente.
165.	Suelo Urbano	Clasificación del terreno en el Plan de Ordenación, constituido por los terrenos que cuenten con acceso vial, abastecimiento de agua, suministro de energía eléctrica y con otra infraestructura necesaria para el desenvolvimiento de las actividades administrativas, económicas y sociales que en estos suelos se realizan, y que están comprendidos en áreas consolidadas por la edificación.
166.	Suelo Urbanizable	Clasificación del terreno en el Plan de Ordenación, constituido por los terrenos que se declaren aptos para ser urbanizados a base de la necesidad de terrenos para acomodar el crecimiento del municipio en un período de ocho (8) años y cumplir con las metas y objetivos de la ordenación territorial. Esta clasificación del suelo incluye las categorías de suelo urbanizable programado y no programado.
167.	Sumidero	Una depresión natural cerrada en la superficie del suelo causada por la eliminación de material debajo del suelo y el colapso o el hundimiento gradual de la superficie en el vacío resultante. Un sumidero no tiene drenaje superficial externo natural, lo que básicamente significa que cuando llueve, toda el agua de escorrentía permanece dentro del sumidero y, por lo general, drena hacia el subsuelo. Ver Tabla 7.1 y Figura 7.4 para definiciones de los diferentes tipos de sumideros.
168.	Tasa de Infiltración	La velocidad a la que un suelo infiltra el agua acumulada en la superficie. Se expresa en término de longitud por unidad de tiempo, p. ej.,

Término	Descripción
169. Tasa de Percolación	pulgadas por hora (pulg/hr) o centímetros por hora (cm/hr). Su valor máximo es igual a la capacidad de infiltración del suelo donde ocurre la infiltración. Velocidad a la cual el agua percola dentro de la matriz de suelo y se expresa en unidades correspondientes a las dimensiones de longitud por unidad de tiempo, p. ej., pulgadas por hora (pulg/hr) o centímetros por hora (cm/hr).
170. Techo Verde	Los techos verdes son azoteas cubiertas con vegetación selecta instalada en los techos y en las superficies elevadas de los edificios.
171. Tiempo de Concentración	El tiempo de concentración es el tiempo que le toma a una partícula de agua viajar desde el punto hidráulicamente más distante del área de captación hasta el punto de interés o salida del área de drenaje. Esta definición implica que el área de captación se encuentra en un equilibrio hidrológico (entrada de lluvia en exceso es igual a la salida del caudal, en términos de volumen) y, por lo tanto, el tiempo de equilibrio es igual al tiempo de viaje.
172. Tiempo de Viaje	Es el tiempo que le toma a un caudal, o flujo, viajar sobre la superficie una distancia determinada. Se determina para tres diferentes de regímenes de flujo, estos son: flujo en capa, flujo concentrado de poca profundidad y flujo en canal abierto.
173. Zanja Vegetada	Las zanjas vegetadas son canales con cubierta vegetal hecho con el propósito de transportar agua de lluvia de una zona a otra a velocidades bajas y sobre terrenos permeables aumentando el tiempo de concentración y promoviendo la deposición de sedimentos y la eliminación de contaminantes.
174. Zona Cárstica	Extensiones de terreno ubicadas en el norte de Puerto Rico como franja continua, en el Sur como franja discontinua, las islas de Mona, Monito, parte de Caja de Muertos y afloramientos aislados en otras partes de la Isla. Esta zona se caracteriza por una geología compuesta de rocas sedimentarias calcáreas,

Término	Descripción
175. Zona de Amortiguamiento	principalmente calizas. Posee una gran susceptibilidad a la disolución mediante el flujo de aguas superficiales y subterráneas para formar una fisiografía especial, negativa (depresiones o sumideros), positivas (mogotes) y cavernas subterráneas. Son aquellas áreas adyacentes a los límites de las áreas ecológicamente sensibles y protegidas que conforman espacios de transición entre las zonas protegidas y el entorno. Su ubicación estratégica obliga a que sean manejadas de tal manera que garanticen el cumplimiento de los objetivos de las áreas naturales protegidas. En el caso de los Valles Agrícolas, es la franja de terreno que ubica dentro de la delimitación de la Reserva Agrícola para proteger tanto el uso agrícola de los terrenos como para proteger recursos dentro de la Reserva que requieren ser protegidos o para proteger el uso no agrícola ya establecido. En el caso de los sumideros, es la franja de terreno cuyo ancho (largo en la dirección del flujo) y pendiente permiten que el caudal de las aguas de escorrentía mantenga un régimen de flujo en capa y protege contra la erosión y transporte de sedimentos hacia el sumidero. En el caso de la zona costanera, es la franja de terreno que recibe las descargas de los sistemas de manejo de las aguas pluviales con un régimen de flujo en capa y protege la zona marítimo-terrestre contra la erosión y transporte de sedimentos.
176. Zona de Depresión en Carreteras y Calles	Se considera una zona de depresión en carreteras y calles aquel lugar con la elevación de la superficie más baja que recoge las aguas de escorrentía de las áreas adyacentes y que, por su naturaleza, no permite que el agua drene por sí misma fuera de la depresión.
177. Zona de Separación	Todo proyecto para la construcción de edificios, de segregación o de urbanización de terrenos, con frente a la costa o playas de Puerto Rico, se requerirá que se dedique, para uso público, una faja de terreno de veinte (20) metros de ancho mínimo, paralela y medida desde la zona marítimo terrestre. Tampoco se erigirán

Término	Descripción
178. Zona Marítimo-Terrestre	estructuras permanentes en una faja de terreno de treinta (30) metros de ancho, contiguas a la anterior (ver Reglamento Conjunto vigente). Es el espacio de las costas del Estado Libre Asociado de Puerto Rico que baña el mar en su flujo y reflujo, en donde son sensibles las mareas, y las mayores olas en los temporales en donde las mareas no son sensibles, e incluye los terrenos ganados al mar, las accesiones y aterramientos que ocasiona el mismo, y las márgenes de los ríos hasta el sitio en que sean navegables o se hagan sensibles las mareas. El término, sin condicionar, significa la zona marítimo-terrestre de Puerto Rico.

SECCIÓN 1.4 REFERENCIAS

- [1] NRCS, «Chapter 15 Time of Concentration,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2010, p. 29.

CAPÍTULO 2 PLANIFICACIÓN E IMPACTO DE LOS SISTEMAS DE MANEJO DE ESCORRENTÍA PLUVIAL

SECCIÓN 2.1 INTRODUCCIÓN

- a. Es de conocimiento general que la expansión de la huella urbana tiene impactos significativos en la producción de escorrentía pluvial. Uno de los impactos más significativo es la impermeabilización de los suelos, lo cual produce un aumento en el caudal y volumen de escorrentía pluvial. En el aspecto hidrológico, otros impactos comunes son el aumento en magnitud del flujo pico en el hidrograma de respuesta y la reducción en el tiempo de concentración de las áreas de drenaje y, consecuentemente, la reducción en el tiempo al pico del hidrograma. Estos impactos producen efectos adversos en el entorno ambiental, como lo son la reducción de infiltración y recarga de acuíferos, aumento en las tasas de erosión y transporte de sedimentos, y el fenómeno de inundación urbana, entre otros.
- b. La Junta de Planificación de Puerto Rico, según su Ley Orgánica (Ley Núm. 75 de 24 de junio de 1975, según enmendada), fue creada con la misión de guiar el desarrollo integral de Puerto Rico, de modo coordinado, adecuado y económico, y promover el uso eficiente de las tierras y otros recursos naturales. Las acciones producto del aumento o cambios de la huella urbana deberán cumplir con las normativas promulgadas en este reglamento. El diseño de redes de drenaje urbano, las cuales son parte de la planificación de manejo de los sistemas de escorrentías pluviales, tiene un impacto significativo en la planificación del ordenamiento territorial. El manejo consciente, informado y planificado de la escorrentía pluvial debe tener como horizonte evitar los efectos adversos al ambiente, favorecer el desarrollo económico y crear espacios de bienestar social de forma integrada, resiliente y sustentable.
- c. Con este fin, este capítulo discute la importancia del manejo de la escorrentía pluvial y los sistemas de drenaje en la planificación urbana. Además, se presenta en forma resumida los criterios generales de diseño en los análisis hidrológicos e hidráulicos y en casos especiales de diseño de infraestructura pluvial como es el uso de medidas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés).

SECCIÓN 2.2 IMPACTO EN LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LAS ESCORRENTÍAS

- a. El desarrollo de nuevos proyectos impacta la producción de escorrentías pluviales aumentando el volumen y magnitudes de los caudales según se altera la permeabilidad de los suelos. Así mismo ocurre con proyectos de expansión y alteraciones a proyectos existentes. Estos impactos deben ser cuantificados y analizados para determinar posibles impactos adversos al ambiente natural y

socioeconómico. Este reglamento establece los criterios de diseño para estos proyectos asegurando el mejor funcionamiento de las estructuras y cumplimiento con los propósitos de aminorar pérdidas de vidas y económicas.

2.2.1

Aumento de Escorrentías

- a. No se permitirá aumento en la magnitud de los caudales máximos de escorrentía en la condición postdesarrollo al ser comparados con los caudales de la condición predesarrollo para las mismas frecuencias y duraciones de los eventos de lluvia de diseño. El aumento de caudal producido por cualquier proyecto deberá ser mitigado utilizando diversas alternativas de control de escorrentías.

2.2.2

Calidad de las Aguas de Escorrentía Pluvial

- a. El aumento de las escorrentías tendrá impactos en el medio ambiente, por lo que la calidad de las aguas puede verse afectada. El alcance de este reglamento en el ámbito de calidad de agua está limitado a el control de la producción y arrastre de sedimentos en proyectos.
- b. Se requiere la implementación de las mejores prácticas para el control de la erosión, reducción del volumen de sedimentos generados en el proyecto y evitar el transporte de estos fuera del terreno sujeto al desarrollo.
- c. El dueño del proyecto será responsable de cumplir con los requerimientos de manejo y control de la calidad de las aguas de escorrentía generadas en cada una de las etapas de desarrollo del proyecto según disponen las leyes ambientales a nivel estatal como federal.
- d. Los dueños de los proyectos a ser propuesto para construcción en zonas cársticas deberán proveer medidas de control de erosión y sedimentación permanentes para la protección de sumideros que pueden ser utilizados como receptores de descargas pluviales o cuyas descargas sean manejadas mediante el uso de pozos de drenaje. Las medidas de control propuestas deberán contar con el endoso del DRNA.

SECCIÓN 2.3 IMPACTOS ADVERSOS EN LOS CUERPOS DE AGUA

- a. Este reglamento considera impactos adversos aquellos asociados al aumento de caudales, aumento de velocidades en los cauces, aumentos en los niveles de inundación, descarga de sedimentos y alteraciones a la hidrología e hidráulica del cuerpo de agua receptor, todos producidos durante la construcción y en la condición postdesarrollo.
- b. No se permitirá ningún impacto adverso al caudal pico, nivel de agua o calidad de las aguas en los cuerpos de agua receptores de las descargas de escorrentías de los proyectos durante la construcción y en la condición postdesarrollo.

SECCIÓN 2.4 PLANIFICACIÓN DEL MANEJO DE LAS ESCORRENTÍAS PLUVIALES

- a. La huella urbana tiene un impacto directo sobre el comportamiento de la escorrentía dado que afecta los patrones naturales del ciclo hidrológico (i.e. capacidad de infiltración del terreno, cambio en las pendientes, patrones de flujo, entre otros). Planificar el manejo de las escorrentías pluviales es necesario en proyectos porque se logra una reducción del impacto causado por el cambio en el uso de suelos producto de la propuesta de desarrollo.
- b. Los sistemas de alcantarillado pluvial son la alternativa más común del manejo y control de las escorrentías pluviales. Estos sistemas son parte importante de la infraestructura urbana que puede afectar el desempeño de todas las actividades gubernamentales y privadas. La función principal de los sistemas de alcantarillado pluvial es la captación, transporte y desagüe de las aguas de lluvia hacia los cuerpos de agua receptores sin afectar áreas urbanas localizadas aguas abajo (i.e. viviendas, comercios, industrias, carreteras o cualquier otra infraestructura) y disminuyendo el impacto sobre el tráfico peatonal y vehicular durante eventos de lluvia.
- c. Los costos asociados con las inundaciones urbanas son el resultado esperado a la ausencia de la planificación del manejo de las escorrentías pluviales. La reconstrucción y rehabilitación de infraestructura dañada, los impactos sobre la economía local, gastos de fondos estatales y federales para la atención de los problemas ocasionados por inundaciones urbanas son algunos de estos costos que pueden ser reducidos con una planificación adecuada.
- d. Este reglamento será utilizado en la planificación de proyectos de desarrollo de terreno y por todo profesional autorizado en áreas relacionadas al diseño y construcción de sistemas de alcantarillado pluvial.
- e. En la planificación del proyecto se tomarán en cuenta las siguientes secciones.

2.4.1

Diseño de Redes de Alcantarillado Pluvial

- a. Un sistema de alcantarillado pluvial está compuesto por una red de conductos e instalaciones complementarias, que permiten la captación, transporte y desagüe de las escorrentías en una manera controlada. Esta red consiste en cunetas, encintados, tubos, canales y atarjeas, entre otros, los cuales requieren mantenimiento para una operación adecuada y eficiente según diseñados. Los propósitos principales en un diseño de alcantarillado pluvial son el control de inundaciones, contar con capacidad hidráulica, velocidad y profundidad de flujo adecuada para garantizar la seguridad del tránsito vehicular y de peatones. En el caso en que se considere el uso de técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto en el diseño del sistema de alcantarillado pluvial, se debe considerar las condiciones locales del suelo y sus tasas de infiltración naturales para un mejor desempeño del manejo y control de las escorrentías pluviales.

- b. La planificación de la red pluvial requiere un estudio de la condición predesarrollo del lugar incluyendo los proyectos propuestos (vivienda, comercio, industria e infraestructura) en el interior de la cuenca hidrográfica donde ubica el desarrollo propuesto. Además, en la planificación se debe considerar los patrones de flujo superficial del terreno en la condición predesarrollo, las pendientes del terreno en su estado natural, condición de inundación e infraestructura pluvial existente cerca del proyecto. Cada uno de estos aspectos permiten conocer lo siguiente; cambio futuro del uso de suelo en la cuenca, condición de inundación de lugar e impacto de las inundaciones futuras y capacidad hidráulica de infraestructura pluvial cercana al proyecto. Estos aspectos permiten proveer alternativas de manejo de escorrentías pluviales adecuadas reduciendo los impactos adversos del proyecto propuesto.
- c. En los casos en donde hay intención de conectar el sistema de alcantarillado pluvial nuevo a uno existente, se determinará la mitigación necesaria para no sobrecargar el sistema existente luego de realizar los análisis sobre su capacidad hidráulica. Se documentarán las condiciones hidráulicas existentes y las descargas del nuevo sistema no provocará que el sistema existente exceda su capacidad hidráulica.

2.4.1.1

Etapas del diseño de alcantarillado pluvial

- a. El diseño de un sistema de alcantarillado pluvial tiene varias etapas donde se involucran distintas áreas de la ingeniería. La planificación del manejo de las escorrentías pluviales es importante para la viabilidad de la expansión de la huella urbana. A continuación, se presenta una descripción de estas etapas.
 - 1. **Análisis hidrográfico** – En esta etapa se determina la precipitación en la zona de estudio y se evalúa el comportamiento de los patrones de flujo de la escorrentía sobre la superficie del terreno. Se analiza el recorrido de las escorrentías a lo largo de las áreas de drenaje, subcuencas y cuenca de la zona bajo estudio. La definición de los límites de estas áreas permite conocer el impacto de las escorrentías en la planificación territorial.
 - 2. **Análisis hidrológico** - Se recopilan los datos de precipitación resultantes de un análisis de frecuencia para las coordenadas del sitio de estudio y por medio de análisis hidrológicos, para cada periodo de retorno (recurrencia) y cada duración reglamentada, se transforma la lluvia en escorrentía. Con esta información se determinan los caudales de diseño.
 - 3. **Análisis hidráulico** - Se analiza el comportamiento hidráulico de las escorrentías y se proponen alternativas de solución para mitigar los riesgos asociados al fenómeno de inundación urbana. Esto se realiza a través de análisis hidráulicos con ayuda de modelos de simulación matemática. Definida la alternativa más viable (en término de costo y beneficios), se

realiza un diseño geométrico de los distintos elementos que conformarán la red de alcantarillado pluvial.

4. **Diseño de sistemas de drenaje pluvial** – Se implementan los criterios y las características geométricas e hidráulicas de los sistemas mayor y menor de la red de alcantarillado pluvial.
5. **Planos de construcción e informe de diseño** – Presentación del diseño y planos de construcción donde se presentan todos los componentes del sistema pluvial incluyendo las especificaciones, costos de construcción y estudios y/o cálculos técnicos que sostienen el diseño civil del proyecto. En esta etapa se incluye las recomendaciones generales provistas por el Plan de Operación y Mantenimiento del sistema pluvial.

2.4.1.2

Planos del diseño de la red pluvial

- a. El diseño de la red de alcantarillado pluvial debe ser presentado por medios de planos que incluya una descripción clara del sistema pluvial urbano. Los planos de construcción deberán contar, como mínimo, con la siguiente información.
 1. Una hoja de título que incluya, entre otra información, la localización del lugar del proyecto sobre cuadrángulo topográfico y foto aérea.
 2. Un plano de sitio, ilustrando el trazado de las líneas del sistema pluvial, solares, calles, localización de pocetos, registros, cunetas y encintados, y canales, y cualquier otra estructura pluvial. Este plano deberá incluir además la siguiente información.
 - Identificación de los pocetos, registros y otras estructuras (charcas, disipadores de energía, etc.).
 - Elevaciones de tope e invertida de los pocetos, registros y otras estructuras.
 - Elevación de las invertidas de los tubos en ambos extremos.
 - Longitud, diámetro, pendiente y material de los conductos.
 - Alineación geométrica y dimensiones de canales.
 - Ancho de servidumbre e ilustración a escala de las líneas del sistema pluvial incluyendo atarjeas y otras estructuras pluviales.
 3. Plano ilustrando los perfiles de los conductos del sistema pluvial que incluirá la siguiente información.
 - Identificación de los pocetos y demás estructuras.
 - Ilustración a escala de las líneas del fondo y tope de los conductos.
 - Pendientes de los conductos y elevaciones del tope y fondo de los conductos, estructuras de conexión y otras estructuras pluviales.

- Diámetro o dimensiones de los conductos.
- Elevación del nivel máximo del agua en el punto de desagüe o estructura de salida.
- Pendiente de fondo de canales, tanto del terreno natural como de la rasante propuesta.
- Hojas de detalles típicos de todas las estructuras y secciones de los conductos, canales y atarjeas.
- Copias de los cálculos hidráulicos (estudios o informe técnico) incluyendo la representación gráfica de las áreas de captación del sistema de alcantarillado pluvial.

2.4.2 Criterios del Diseño Hidrológico

- a. El Capítulo 3 discute en detalle los criterios para determinar los eventos de lluvia de diseño y métodos para desarrollar los datos necesarios para el análisis hidrológico. Los diseños serán verificados mediante simulaciones en computadora para eventos de lluvia de diferentes frecuencias y duraciones, según reglamentado.

2.4.2.1 Frecuencia del evento de lluvia de diseño

- a. El diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial deberá reconocer la distinción entre los sistemas de drenaje mayor y menor.
- b. Ningún sistema de desagüe se planificará y diseñará para eventos de lluvia con periodos de recurrencia menor de 25 años.
- c. Los sistemas de drenaje mayor serán diseñados para eventos de lluvia con periodos de recurrencia de 100 años.

2.4.2.2 Distribuciones temporales de lluvia

- a. Las distribuciones temporales de la lluvia serán utilizadas en las simulaciones para corroborar que el sistema completo, según diseñado, se comporte adecuadamente bajo los diferentes eventos de lluvia.
- b. Las distribuciones temporales de lluvia se obtendrán según la metodología recomendada en las Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos-Hidráulicos de la Junta de Planificación [1] para duraciones de lluvia de 6, 12 y 24 horas y para las recurrencias establecidas.

2.4.2.3 Cambio climático

- a. El efecto de cambio climático será incorporado en el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial. Vea el Capítulo 3 para conocer los criterios a utilizar.

- 2.4.2.4 Cálculo de caudales de diseño**
- El cálculo de caudales de diseño se realizará con el uso de la metodología presentada en el NEH630 – Capítulo 10 [2], Capítulo 15 [3] y Capítulo 16 [4] del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés), y según modificada en este reglamento.
- 2.4.2.5 Cálculo del Número de Curva (CN) y tiempo de concentración (t_c)**
- Los cálculos del Número de Curva y tiempo de concentración se realizarán con el uso de la metodología desarrollada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) y presentada en el NEH630, Capítulo 9 [5] y Capítulo 10 [2], con la excepción que para determinar el tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa se utilizará la ecuación de la onda cinemática (ver Capítulo 3 para los detalles).
 - El tiempo de concentración mínimo será de 6 minutos (0.10 horas).
- 2.4.3 Criterios para el Diseño Hidráulico de Carreteras y Calles**
- El Capítulo 4 presenta los tipos de carretera y discute los criterios y las características geométricas e hidráulicas de las cunetas, tipos de pocetos, capacidad hidráulica en zonas de pendiente regular y en condiciones de empozamiento. Además, presenta el procedimiento de cálculo para la ubicación y dimensionamiento de los pocetos de rejilla y pocetos de entrada lateral. A continuación, se presentan los criterios de diseño de las obras de drenaje de carreteras y calles.
- 2.4.3.1 Separación de pocetos en el sistema de drenaje menor**
- Se requiere la evaluación de dos criterios para determinar el caudal máximo sobre la sección de carretera previo a ser interceptado por un poceto. Los criterios son; ancho de superficie libre de agua en la calle y profundidad máxima en la cuneta. Se seleccionará aquel criterio cuyo caudal de diseño es el menor.
- 2.4.3.2 Ancho de la superficie de agua sobre carreteras y calles**
- En carreteras arteriales, el ancho máximo de la inundación (superficie de agua), medido desde la cuneta hacia el centro de la carretera, debe permitir un carril en cada dirección sin agua, y no deberá inundarse más de dos carriles en cada dirección.
 - El ancho mínimo libre de agua (no inundado) en un carril en carretera local, o colectora, será de 2 metros (6.56 pies) para el evento de lluvia de diseño.
- 2.4.3.3 Profundidad máxima del agua en las cunetas de carreteras y calles**
- En proyectos donde se utilicen encintados y cunetas, la profundidad del agua durante el evento de lluvia de diseño no excederá la altura del encintado de la cuneta.

- b. En calles principales o avenidas será de 15 cm ($\approx$ 6 pulgadas).
- c. En calles locales de trece (13) metros o menos de servidumbre, se podrá usar un encintado de 10 cm ($\approx$ 4 pulgadas) de alto sobre el pelo de agua.

2.4.3.4 Zonas de depresión (puntos bajos en carreteras y calles)

- a. No se permitirá que la profundidad del agua en una zona de depresión exceda la permitida por el criterio de “Profundidad Máxima del Agua” (Sección 4.4.2).
- b. Se utilizará el evento de lluvia con recurrencia de 50 años y 24 horas de duración para diseñar en zonas de depresión en las cuales el agua empozada solamente se puede desaguar mediante el sistema de alcantarillado pluvial.
- c. A partir de la zona de depresión, el sistema pluvial (aguas abajo) deberá diseñarse para el evento de lluvia de 50 años y 24 horas.

2.4.3.5 Drenaje superficial en las carreteras y calles

- a. Se requiere la presentación del cálculo hidráulico (ecuaciones de la FHWA) para determinar los caudales que fluyen en las cunetas y aquellos que son interceptados por los pocetos del sistema de alcantarillado pluvial.
- b. Las calles con encintados y cunetas contarán con pendientes longitudinales mínima de 0.5%.
- c. Las pendientes transversales de las carreteras serán entre 2% y 2.5%.

2.4.3.6 Áreas que drenan directamente a carreteras y calles

- a. Áreas que drenan hacia una carretera y que no corresponden a un solar o terreno urbanizado, dichas aguas, provenientes de laderas o cortes del terreno, deben interceptarse antes de que lleguen a la carretera considerando los siguientes.
 - 1. En zonas donde no se considera necesario el uso de encintados se recomienda el uso de canales poco profundos que tengan capacidad hidráulica para drenar las aguas, preferible con vegetación resistente que evite la erosión. Se permite el uso de canales con revestimiento en hormigón u otro material que evite la erosión y se proveerá un medio para disipar la energía en el punto de descarga, de ser necesario.
 - 2. Todas las aguas de drenaje pluvial deben ser interceptadas antes de la entrada a los puentes y descargadas adecuadamente.

2.4.3.7 Encintados y cunetas

- a. La pendiente longitudinal mínima de las calles con cunetas y encintados será de 0.5%.
- b. El ancho de cunetas será entre 0.3 y 1.0 m (12 a 39 pulgadas).
- c. La pendiente transversal máxima de cuneta será de 8%.

- d. Proyectos en zona rural donde se requiera la pavimentación de las calles se deberán construir zanjas revestidas de hormigón u otro material similar, con geometría trapezoidal, triangular o semicircular (media caña) con capacidad hidráulica para un caudal pico de diseño de 25 años de recurrencia y duración de lluvia igual a $0.133t_c$ (metodología del hidrograma unitario del NRCS [4]).
- e. Se permitirá el revestimiento vegetativo de las zanjas cuando la velocidad máxima del caudal pico de diseño sea menor de 1 m/s (≈ 3 p/s) en terrenos arenosos o 1.5 m/s (≈ 5 p/s) en terrenos arcillosos.

2.4.3.8

Pocetos

- a. El porcentaje mínimo de escorrentía interceptada en cada poceto será 70% del agua que llega al poceto.
- b. Se permitirá la construcción de pocetos directamente sobre tuberías o conductos con diámetro mínimo de 1,500 mm (60 pulgadas).
- c. Se requiere la presentación de los cálculos para estimar la obstrucción en la entrada de pocetos como parte del cálculo de capacidad de la rejilla (ver Sección 4.13, Apéndice 4.B).
- d. La ubicación de pocetos se llevará a cabo según descrito en la Sección 4.6.1 de este reglamento,
- e. No será permitido el uso de pocetos con parrilla continua atravesando el área de rodaje en calles principales o avenidas.
- f. El uso de pocetos con parrilla continua será permitido en calles locales y su capacidad hidráulica será la adecuada para manejar los caudales de los eventos de lluvia con las frecuencias establecidas en la Tabla 3.1.

2.4.4

Criterios para el Diseño Hidráulico del Sistema Soterrado

- a. El Capítulo 5 presenta los criterios de diseño para el sistema soterrado incluyendo los conceptos de alineamiento horizontal y vertical, gradiente hidráulico y de energía, y pérdidas de energía en conductos. A continuación, se presentan los criterios de diseño de las obras de drenaje soterrado de carretera.

2.4.4.1

Pozos de registro (manholes)

- a. El diámetro mínimo de la sección de acceso al pozo será de 1.22 m (48 pulgadas).
- b. Las distancias máximas permitidas entre pozos de registro se establecerán de acuerdo con el diámetro del tubo (ver Tabla 5.1).

2.4.4.2 Alineamiento vertical

- a. La separación vertical mínima entre las tuberías de alcantarillado pluvial y cualquier otra tubería será de 0.30 m (1 pie).

2.4.4.3 Pendientes y velocidades

- a. La pendiente mínima en tubos será estimada con el uso de la Ecuación 5.1.
- b. Velocidad mínima del agua en tubos (flujo lleno) será 0.61 m/s (2 p/s) [6].
- c. Velocidad máxima del agua en tubos (flujo lleno) será 4.57 m/s (15 p/s) [7], [8].

2.4.4.4 Profundidad de agua para caudal de diseño

- a. El diámetro de la tubería para conducir el caudal de diseño será aquel que corresponda a una razón máxima de profundidad/diámetro, y/D , de 0.7, donde y es la profundidad normal y D es el diámetro del tubo. El diámetro seleccionado será el diámetro comercial disponible que sea igual o inmediatamente mayor que el calculado.

2.4.4.5 Diámetro mínimo de tuberías

- a. Se hace la salvedad que los diámetros de los tubos tienen su propio sistema de tamaños comerciales en el sistema internacional de unidades. En otras palabras, no se puede hacer una conversión directa de unidades entre los dos sistemas, USC y SI.
- b. El diámetro interior mínimo será de 300 mm (12 pulgadas) en las calles o servidumbres pluviales.
- c. No se permitirá la reducción de diámetro de una tubería mayor a una menor en la dirección del flujo.

2.4.4.6 Capacidad hidráulica de los tubos

- a. El cálculo de la capacidad hidráulica de los tubos se realizará con el uso de las siguientes ecuaciones.
 - Ecuación de Manning (Ecuación 5.2).
 - Ecuación Darcy-Weisbach (Ecuación 5.3).

2.4.4.7 Estructuras de disipación de energía

- a. Se requiere el uso de estas estructuras en todos los lugares de descarga final del sistema pluvial.
- b. Se utilizarán estas estructuras en otros lugares del sistema pluvia para evitar la erosión y transporte de sedimentos, p.ej., charcas de retención y detención.

2.4.4.8 Zonas de amortiguamiento para descargas dispersas

- a. Se requiere el establecimiento de una zona de amortiguamiento para que las aguas pluviales descarguen de manera dispersa en lugares requeridos. Lugares identificados para recibir este tipo de descarga son (a) donde no hay un cauce, (b) humedales, (c) sumideros y (d) zona de separación (ver la Sección 1.3 “Definiciones de Términos” y el Reglamento Conjunto vigente).

2.4.4.9 Niveles para Descarga en Cuerpos de Agua Receptoras

- a. El diseño incluirá una evaluación de los niveles (elevaciones) de las aguas receptoras para determinar la invertida de la estructura de salida del sistema pluvial de tal manera que se eviten inundaciones aguas arriba por el efecto de remanso dentro del sistema.
- b. El diseñador incluirá en su informe el criterio utilizado para estimar los niveles de las aguas receptoras correspondientes a las frecuencias de diseño establecidas en este reglamento.

2.4.4.10 Sistema de bombeo de aguas pluviales

- a. Este sistema solamente será utilizado cuando no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable en redes de alcantarillado pluvial.
- b. No se permitirán incrementos en el área de drenaje ni en los caudales de diseño asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos, a menos que se realice otro diseño donde se incluyan los cambios necesarios para poder manejar las nuevas condiciones.
- c. Se instalarán por lo menos dos unidades de bomba, cada una con capacidad para suplir el caudal de diseño, las cuales funcionarán de forma alterna. Siempre se instalará una bomba adicional con la misma capacidad de las otras bombas y su uso será alternado.
- d. Las estaciones de bombeo contarán con generadores eléctricos de emergencia permanentes provistos con conmutadores automáticos (“transfer switch”). La capacidad eléctrica mínima del generador permitirá la operación de la estación de bombeo por un periodo mínimo de 48 horas a partir del momento en que se produce la desconexión de la energía eléctrica.
- e. La estación debe tener un sistema automático para detectar problemas de funcionamiento, nivel de succión excesivamente alto y fallas eléctricas.
- f. Las instalaciones pueden ser de pozo húmedo (“wet pit”) o pozo seco (“dry pit”).
- g. Las bombas deben tener un pararrayos para protección de los motores.
- h. La caseta de bombas debe tener ventilación adecuada.

- i. El sistema de bombeo debe ser diseñado para proveer protección contra golpes de ariete en la tubería de descarga y válvulas de control de aire (ventosas) en los puntos altos de la línea de descarga.

2.4.4.11 Criterios de Diseño de Estructuras para el Control de Escorrentías

- a. El Capítulo 6 discute los diferentes tipos de estructuras para el control de escorrentías y sistemas de bombeo de aguas pluviales. El objetivo de estas estructuras es proveer medidas de mitigación en nuevos proyectos y desarrollos existentes. A continuación, se resumen los criterios de diseño de estas estructuras.

2.4.4.12 Localización y lugar de descarga

- a. Las descargas pluviales serán dirigidas hacia un cauce natural siempre que sea posible.
- b. Si la descarga es hacia un sistema de alcantarillado pluvial existente, la descarga de la estructura no provocará que se exceda la capacidad hidráulica del sistema existente según se define en este reglamento.
- c. En caso de no poder descargar en un cauce natural o un sistema existente, el efluente de la charca deberá ser distribuido como flujo en capa emulando el comportamiento natural de la escorrentía superficial para la condición predesarrollo. Esta distribución será aplicada en aquellos proyectos donde sus efluentes sean dirigidos hacia la superficie del terreno, humedales, sumideros y zonas de separación (ver la Sección 1.3 “Definiciones de Términos” y el Reglamento Conjunto vigente).

2.4.4.13 Efecto aguas abajo de la descarga de la charca

- a. No se permitirá que la descarga pluvial de los proyectos de desarrollo de terreno aumente los caudales de los cuerpos de agua receptores.
- b. Se requiere una evaluación de los hidrogramas de la descarga de la charca y del cuerpo de las aguas receptoras aguas debajo de la salida de la charca para determinar los efectos de esta descarga. En el caso en que se determine un efecto adverso o no deseado, se incorporarán las medidas de mitigación correspondientes en el diseño del sistema.
- c. Las medidas de control de escorrentía deben cumplir con mantener el caudal pico estimado en el área de drenaje de proyecto igual o menor al caudal para la condición predesarrollo.
- d. Las medidas de control de escorrentía propuesta para el proyecto deben evitar el aumento de caudal en el cuerpo de las aguas receptoras, tomando en consideración la cuenca completa aguas arriba del punto de descarga de la cual el área de drenaje del proyecto se considera una unidad tributaria a ese punto.

- e. Si la descarga es hacia la superficie del terreno, humedales, sumideros o zonas de separación, el flujo de la descarga debe seguir el régimen de flujo en capa emulando el estado natural de terreno y no debe exceder la magnitud de los caudales en el estado natural.

2.4.4.14 Pendientes de taludes

- a. Se requiere realizar un estudio geotécnico como parte del diseño final donde se incluyan las recomendaciones relacionadas con la estabilidad de pendientes de talud y la estimación de la profundidad de nivel freático en el lugar propuesto para la construcción de la charca.

2.4.4.15 Pendiente y canal en el fondo de la charca

- a. Se requiere el uso de un canal de drenaje en el fondo de la charca para dirigir las escorrentías de eventos menores hacia la estructura de salida y evitar la acumulación de sedimentos. Este criterio solo aplica a charcas donde no se ha considerado la infiltración de aguas de escorrentía en el diseño como un mecanismo de descarga.
- b. En casos donde se considere la infiltración como parte del diseño, este debe incluir la descripción de la metodología y cálculos de estimación de los parámetros de las ecuaciones de infiltración.

2.4.4.16 Manejo de sedimentos

- a. Se requiere la construcción de una trampa de sedimentos frente a la estructura de salida en el interior de las charcas.
- b. La profundidad mínima de la trampa será de 30 cm (1 pie) por debajo de la elevación mínima de las estructuras de salida en el interior de la charca.
- c. El área superficial de la trampa estará basada en un volumen estimado de sedimentos utilizando técnicas aceptadas en la práctica de la ingeniería.
- d. Se requiere que la trampa de sedimento se integre en el Plan de Operación y Mantenimiento del sistema pluvial (ver Capítulo 9).

2.4.4.17 Eventos de lluvia de diseño

- a. Se requieren que las charcas sean diseñadas para los eventos presentados en la Tabla 6.1.
- b. Los flujos de salida de las charcas no excederán los flujos máximos estimados para la condición predesarrollo.

2.4.4.18 Estructuras de salida

- a. Se requiere estructuras de salida, tales como; vertedores, orificios, tubos verticales y alcantarillas, entre otros (ver Apéndice 6.A).

- b. El diseño debe incluir una estructura de salida de emergencia, la cual debe estar protegida contra la erosión.
- c. Los pozos de drenaje podrán ser utilizados como estructura de salida bajo ciertas circunstancias específicas (ver Sección 6.19).
 - Esta medida solamente se permitirá cuando se demuestre que no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable.
 - Solamente se permitirán en aquellos lugares donde el subsuelo sea uno de alta permeabilidad y no se tengan arcillas u otras capas de baja permeabilidad en la zona donde se ubiquen los pozos.
- d. La capacidad de la estructura de almacenamiento se diseñará bajo los mismos criterios establecidos en este reglamento para las charcas de detención, ver Figura 6.5.
- e. La capacidad de infiltración será la obtenida mediante los pozos de drenaje que se perforen en el fondo de la charca.
- f. No se permitirán incrementos en el área de drenaje, ni en los caudales que lleguen a la charca, asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos que pretendan drenar a la misma charca de detención con pozos de drenaje.
- g. Las aguas que drenan por los pozos de en una estructura de almacenamiento deben haber sido previamente filtradas para prevenir que las partículas o basuras tapen el interior de los pozos.
- h. El diseño de la estructura de control debe considerar el uso de la estructura de sedimentación o retención de particulado. Se proveerá un cálculo del diámetro mínimo de la partícula retenida en las estructuras de sedimentación antes del ingreso al pozo de drenaje.
- i. El diseño de los pozos de drenaje debe contar con información y datos mínimos según dispone la Sección 6.19.

2.4.4.19 Niveles de agua del cuerpo receptor

- a. Se considerará en el diseño de la estructura de salida de las charcas, o cualquier otro tipo de estructura de control de escorrentías, los niveles de agua del cuerpo receptor como ríos, lagos, quebradas, entre otros.
- b. El diseño debe incluir, en su informe, el criterio utilizado para estimar los niveles de agua del cuerpo receptor correspondientes a las frecuencias de diseño de la charca según presentadas en la Tabla 6.1.

2.4.4.20 Distancia libre vertical

- a. Se requiere una distancia libre vertical mínima de 30 cm (1 pie) por encima del nivel máximo del agua sobre de tope del vertedor de emergencia.

2.4.4.21 Tiempo de vaciado

- a. Se requiere que el 95% del volumen de las estructuras de control drenen en un periodo máximo de 48 horas a partir del comienzo del evento de lluvia de 100 años de recurrencia y 24 horas de duración.

2.4.4.22 Niveles freáticos

- a. Se requiere una distancia mínima de 30 cm (1 pie) desde el nivel freático promedio del lugar a la elevación mínima de la base de la charca. Esta información debe ser respaldada por un estudio geotécnico que incluya como mínimo las características del subsuelo y nivel freático promedio del lugar.

2.4.4.23 Rejillas para escombros y basura

- a. Toda estructura de salida en charcas tendrá un sistema de rejillas para evitar la entrada de escombros, basura y personas no autorizadas (ver Figura 6.4).
- b. En pozos de drenaje, las rejillas se protegerán con gaviones para proveer apoyo estructural y se instalarán inclinadas alrededor del pozo. Este sistema de protección debe cumplir con los requisitos establecidos en la Sección 6.19.

2.4.4.24 Seguridad y Acceso

- a. Se requiere que las charcas sean diseñadas para garantizar la seguridad pública y el fácil acceso para mantenimiento en conformidad con el Reglamento Conjunto vigente.

2.4.5 Criterios de Diseño para el Manejo de Escorrentías Pluviales en la Zona Cárstica

- a. El Capítulo 7 discute el manejo de escorrentías pluviales en zonas cársticas en Puerto Rico. En este capítulo se presentan las consideraciones generales de criterios de diseño y otros elementos importantes en la planificación, diseño y construcción de sistemas de control de escorrentías (charcas de detención, retención, tanques, etc.) para la protección de sumideros utilizados para la descarga de las escorrentías. Este diseño requiere el endoso del DRNA. A continuación, se resumen los criterios de diseño para el uso y protección de sumideros.

2.4.5.1 Planificación del diseño del sistema pluvial en proyectos

- a. Como parte de la planificación de los sistemas de manejo y control de escorrentía en proyectos de desarrollo en zonas cársticas se requieren los siguientes los siguientes estudios y análisis.
 - 1. Determinar tipo de geología del área.
 - 2. Determinar el potencial de desarrollo de sumideros nuevos.
 - 3. Identificar las áreas de posible subsidencia de los suelos en la zona de estudio.

4. Determinar las mejores prácticas de manejo, control y disposición de las aguas de escorrentía y el posible uso de sumideros como puntos de descarga de las escorrentías del proyecto.

2.4.5.2 Técnicas de estudios geofísicos

- a. Se requiere la evaluación de los suelos (métodos no-invasivos e invasivos) donde se propone la implantación de medidas de control de escorrentías incluyendo los suelos donde se encuentran el (los) sumidero(s) receptor(es) de las descargas pluviales.
- b. Se requiere en ambas técnicas el levantamiento y documentación general del sumidero y procedimiento del tipo de prueba(s) a realizar en el lugar del proyecto.

2.4.5.3 Zona de amortiguamiento

- a. Se requiere el establecimiento de una zona de amortiguamiento alrededor de la depresión del sumidero para proveer protección durante las descargas de escorrentía. Esta zona de amortiguamiento deberá cumplir con lo establecido en la Sección 7.6.5 de este reglamento.
- b. La faja de la zona de amortiguamiento será de un ancho mínimo de 10.0 metros y un máximo de 25 metros. Valores de ancho intermedios se calcularán utilizando la Ecuación 7.1.
- c. La zona de amortiguamiento se constituirá como servidumbre pluvial y estará sujeta a las disposiciones de la Sección “Constitución de Servidumbres Pluviales” del Reglamento Conjunto vigente.

2.4.5.4 Capacidad hidráulica de sumidero

- a. Se requiere la realización de pruebas de capacidad hidráulica incluyendo pruebas de saturación e infiltración según descritas en la Sección 7.7.

2.4.5.5 Pozos de drenaje

- a. Solo se permitirá el uso combinado de pozos y ventosas en la zona cárstica luego de consultar al DRNA. Esta alternativa solo será permitida cuando se demuestre que no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable. La presentación de estudios de campo deberá justificar la necesidad de la instalación de pozos y ventosa.
- b. Se requiere la realización de estudios geofísicos para determinar la viabilidad del uso de estos pozos de drenaje solo cuando se documente luego de visita de campo la ausencia de sumideros o de formaciones geológicas que permitan el drenaje de aguas superficiales del proyecto.

2.4.5.6

Control de escorrentías

- a. Solo será permitida la implantación de medidas tales como charcas de detención o retención, uso de cubierta vegetal, cambio en la pendiente superficial del suelo, entre otras.
- b. La dimensión de estas medidas de control estará basada en los estimados de capacidad hidráulica documentados con estudio geofísicos realizados en el proyecto.
- c. Las medidas estarán basadas en el control de la erosión, sedimentación y escorrentía según dispone la Sección “Manejo de Aguas Pluviales” del Reglamento Conjunto vigente.
- d. Se requiere que las medidas de control descarguen las escorrentías pluviales del proyecto directamente hacia la zona de amortiguamiento en el régimen de flujo en capa y distribuido sobre la superficie emulando la condición de flujo de la condición predesarrollo.
- e. No se permitirán incrementos en el área de captación ni en los caudales de diseño asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos que pretendan drenar hacia un mismo sumidero, a menos que se realicen estudios que demuestren el efecto de estos cambios y se diseñen las obras civiles adicionales que permitan la disposición de estas descargas producto de las nuevas condiciones.
- f. Se requiere el desarrollo de un plan de operación y mantenimiento que incluya los siguientes elementos:
 - inspección y mantenimiento de controles de ingeniería instalados: verjas, gaviones, trampas de sedimento, etc.
 - inspección de la entrada (abertura) del sumidero y remoción de escombros y desperdicios sólidos.

2.4.6

Mejoras y Rehabilitación de Sistemas Pluviales Existentes

- a. El Capítulo 8 discute la rehabilitación de sistemas de alcantarillado pluvial con la implementación de técnicas de renovación con el propósito de extender su vida útil. A continuación, se presentan los criterios para el uso de estas técnicas.

2.4.6.1

Etapas del proceso de rehabilitación

- a. La rehabilitación de sistemas pluviales requiere un cuidadoso análisis y planificación del proceso a seguir. Con el propósito de obtener los resultados deseado al rehabilitar un sistema, se requiere cumplir con los siguientes.
 1. Evaluación de las necesidades del lugar y capacidad del sistema pluvial existente.

2. Recopilación de información del área circundante al lugar del proyecto. Se permitirán el uso de datos de agencias estatales y/o federales, mapas topográficos, sistemas de información geográfica, entre otros.
3. Realización de un inventario de los lugares alrededor del proyecto donde se han realizado mejoras al alcantarillado pluvial.
4. Evaluación de las alternativas de rehabilitación.
5. Realización de simulación hidráulica de las medidas de rehabilitación para la selección de mejor alternativa.

2.4.6.2

Técnicas de rehabilitación

- a. Las técnicas de rehabilitación son variadas y algunas son aplicables a ciertas condiciones de campo y sistemas. La tecnología avanza rápidamente en este campo proveyendo nuevas técnicas y métodos para satisfacer las variadas exigencias y condiciones de estos sistemas. A continuación, se presentan las técnicas más utilizadas y disponibles en este momento.
 1. Excavación y reemplazo (“Dig-and-Replace”).
 2. Revestimientos de Tubería Curada en Sitio (CIPP, por sus siglas en inglés).
 3. Revestimiento deslizado con tubería de Polietileno de Alta Densidad, PEAD (HDPE) (“Sliplining”).
 4. Revestimiento Centrifugado de Concreto (“Centrifugally-Cast Concrete Pipe”, CCCP).
 5. Otras técnicas de rehabilitación (por sus nombres en inglés):
 - “Shotcrete”
 - “Thermoformed pipe”
 - “Close-fit pipe”
 - “Spiral wound pipe”
 - “Sliplining”
- b. El Capítulo 8 presenta una descripción breve de cada una de estas técnicas.

2.4.6.3

Criterios de evaluación

- a. El criterio de evaluación tendrá el propósito de seleccionar la técnica de rehabilitación mejor adaptable a las necesidades de la rehabilitación. Los detalles sobre estos criterios se encuentran en la Sección 8.4.1 de este reglamento.
 1. Superficies desarrolladas.
 2. Requisito estructural.

3. Requisito de capacidad hidráulica.
4. Configuración de la tubería.

2.4.6.4

Técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto

- a. El propósito de uso de estas técnicas será aliviar la carga hidráulica en sistemas existentes en práctica de rehabilitación en casos donde el sistema pluvial conservará su integridad estructural. Las prácticas de Desarrollo de Bajo Impacto aceptables para propósitos de rehabilitación son las siguientes
 1. Áreas con vegetación, plantas en tiestos y jardineras pluviales
 2. Superficies porosas como ladrillos, grava, o pavimento permeable
 3. Siembra de árboles o conservación de los existentes
 4. Cosecha de lluvia
 5. Cambio de la pendiente superficial del suelo
 6. Planificación de impacto a la superficie de suelo
 7. Charcas de retención y detención
 8. Zanjas con cubierta vegetal

2.4.7

Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillado Pluvial

- a. El Capítulo 9 discute la importancia del desarrollo de un plan de operación y mantenimiento (O&M) que permita un funcionamiento óptimo de los diferentes componentes de un sistema de alcantarillado pluvial.
- b. Desarrollo del plan de O&M será responsabilidad del dueño del proyecto y será parte de la documentación entregada durante el proceso de permisos.
- c. Será responsabilidad del propietario, o custodio-operador del sistema pluvial, la ejecución del plan de O&M.
- d. Las actividades de inspección y mantenimiento de los componentes del sistema deberán ser bajo acciones proactiva.
- e. El plan de O&M debe atender los componentes del sistema de manejo de escorrentía por separado en la siguiente manera.
 1. **Estructuras del Sistema Subterráneo de Drenaje** – Tuberías, registros, cajas de uniones, pocetos, entre otros.
 2. **Estructura del Sistema Superficial de Drenaje** - Cunetas, zanjas, canales, entre otros.
 3. **Estructuras de Control de Escorrentía** – Charcas, o tanques, de detención y retención, estructuras de disipación de energía, entre otros.

4. **Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto** – Celdas de bio-retención, jardines pluviales, zanjas vegetadas, cajas jardineras, pavimento permeable, techos verdes, entre otros.

2.4.8 Prácticas de Diseño de Bajo Impacto

- a. El Capítulo 10 discute la importancia de las prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés) como parte del sistema de alcantarillado pluvial. La Junta de Planificación introduce el uso de medidas LID en la planificación para el uso de espacios en desarrollos urbanos y en la práctica de ingeniería para el diseño de los sistemas de manejo de escorrentía pluvial.
- b. Para propósito de este reglamento, el uso de las prácticas LID en el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial no tendrá requerimiento de cumplimiento. La información contenida en el capítulo 10 serán consideradas como guías para aquellos casos donde se decida utilizar estas prácticas como parte del manejo de las aguas de escorrentía pluvial.

SECCIÓN 2.5 REFERENCIAS

- [1] W. F. Silva Araya y J. Rivera Santos, «Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico,» Junta de Planificación de Puerto Rico, San Juan, PR, 2016.
- [2] NRCS, «Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2004, p. 79.
- [3] NRCS, «Chapter 15 Time of Concentration,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2010, p. 29.
- [4] NRCS, «Chapter 16 Hydrographs,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, US. Department of Agriculture, 2007, p. 50.
- [5] NRCS, «Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, US. Department of Agriculture, 2004, p. 20.
- [6] ASCE, «Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems,» American Society of Civil Engineers, NY, 1992.
- [7] D. A. Chin, *Water-Resources Engineering*, 3rd ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2013.
- [8] R. S. Gupta, *Hydrology and Hydraulic Systems*, 4th ed., Long Grove, IL: Waveland Press, 2017.

CAPÍTULO 3 HIDROLOGÍA PARA LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

SECCIÓN 3.1 PROPÓSITO

- a. Este capítulo presenta las metodologías recomendadas para construir los eventos de lluvia de diseño que producirán los caudales de diseño y los métodos para adquirir, o desarrollar, los datos necesarios para el análisis hidrológico. Se proveen los criterios de diseño a seguir en la aplicación de estas metodologías.

SECCIÓN 3.2 DISPOSICIONES GENERALES

3.2.1 Orden en la Aplicación de las Metodologías

- a. Las metodologías indicadas en este capítulo se aplicarán siguiendo los criterios, requerimientos y limitaciones establecidas durante el desarrollo de cada una de ellas por parte de sus autores. El diseño de sistemas de alcantarillados pluviales conlleva la aplicación repetitiva de estas metodologías y ecuaciones según sea el caso y se avanza en el diseño. Todo diseño deberá ser validado mediante simulación hidrológica e hidráulica como se describe en este capítulo.

3.2.1.1 Planificación

- a. Entre los diferentes procesos de la planificación, es importante determinar el impacto que el proyecto tendrá en la hidrología local y regional del entorno donde ubica el proyecto.
- b. Esta planificación ayudará a determinar los impactos y remedios a considerar en el diseño del sistema de manejo de las escorrentías pluviales.
- c. El Capítulo 2 de este reglamento abunda en este tema.

3.2.1.2 Aspectos Hidrológicos del Diseño Preliminar

- a. El proceso hidrológico de diseño preliminar consta de los siguientes pasos sugeridos.
 - 1. Hacer distinción entre los sistemas mayor y menor (Sección 3.2.2).
 - 2. Determinar de las recurrencias de lluvia para el cómputo del evento de diseño (Sección 3.3).
 - 3. Construir las curvas IDF o ajustar la Ecuación 3.12 a las condiciones del lugar de ubicación del proyecto (Sección 3.11.1.4).
 - 4. Determinar la duración del evento de lluvia para el diseño (Sección 3.3.4).
 - 5. Calcular del caudal de diseño (Sección 3.9).
- b. Una vez completado el diseño preliminar, se procederá a validar este diseño utilizando técnicas de modelaje y simulación con aplicaciones de computadoras

que hayan sido diseñadas y desarrolladas específicamente para el análisis y simulación de alcantarillados pluviales.

- c. Los cambios y modificaciones hechos al sistema de alcantarillado pluvial durante las simulaciones de validación se incorporarán en el diseño final del sistema.
- d. Todo diseño que no haya sido validado mediante simulación con aplicaciones de computadoras será considerado un diseño preliminar.

3.2.2

Sistemas Mayor y Menor

- a. El diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial reconocerá la distinción y separación de dos tipos de sistemas de manejo de escorrentía pluvial: el sistema mayor y el sistema menor.
- b. El sistema mayor lo forman las estructuras que permiten el manejo de la escorrentía pluvial cuando se excede la capacidad del sistema menor. Aquí se incluyen, entre otros, las calles, riachuelos y cauces urbanos, charcas de mitigación (detención y retención), tanques, y tuberías y canales que dirigen las aguas hacia estas estructuras u otros desagües diseñados para eventos de grandes magnitudes.
- c. El sistema menor consiste en cunetas y encintados de las calles, pocetos, tuberías, pozos de registro, canales pequeños, elementos de diseño de las medidas de desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés), entre otros.
- d. Para más información este tema, vea la definición de estos términos en los Capítulos 1 y 4.

3.2.3

National Engineering Handbook – Part 630 – Hydrology (NEH-630)

- a. La parte 630 del NEH del NRCS presenta técnicas desarrolladas por el uso en los análisis hidrológicos que pueden ser aplicadas a la planificación de proyectos de cuencas hidrográficas, evaluación y diseño de sistemas de alcantarillados pluviales.
- b. Este reglamento utiliza las técnicas del NEH-630 para determinar las escorrentías superficiales y los correspondientes volúmenes y caudales de diseño para los eventos de lluvia requeridos en la Tabla 3.1.
- c. En particular, este reglamento utiliza los siguientes capítulos del NEH-630.
 - 1. Chapter 7 – Hydrologic Soil Groups [1] – Utilizado en la determinación del grupo hidrológico de suelo para el cómputo del Número de Curva.
 - 2. Chapter 9 – Hydrologic Soil-Cover Complexes [2] - Utilizado en el cómputo del Número de Curva.

3. Chapter 10 – Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall [3] – Utilizado para el cómputo las abstracciones iniciales, potencial de retención de humedad en la cuenca y la escorrentía directa.
 4. Chapter 15 – Time of Concentration [4] – Utilizado en el cómputo del tiempo de concentración. Este reglamento modifica la ecuación de la onda cinemática para eliminar la dependencia de la distribución temporal de lluvia tipo II del NRCS.
 5. Chapter 16 - Hydrographs [5] – Utilizado para la determinación del caudal de diseño.
- d. Se sustituye el uso de varias ecuaciones y técnicas del NEH-630 por los métodos y ecuaciones indicados en las siguientes secciones. La razón para este cambio es que Puerto Rico tiene sus propias distribuciones temporales de lluvia desarrolladas por la NOAA y presentadas en el informe “Precipitation-Frequency Atlas of the United States - Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands” [6] de la NOAA y en las Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico [7], por lo tanto, las ecuaciones que están basadas en las distribuciones temporales de lluvia Tipo I, IA, II y III no aplican a Puerto Rico y deberán ser reemplazadas por las ecuaciones presentadas en las secciones correspondientes de este capítulo.

3.2.4

Technical Release 55 (TR-55)

- a. La publicación técnica 55 (TR-55) [8] del NRCS presenta procedimientos para calcular el volumen de escorrentía de las lluvias, el caudal pico de la descarga, los hidrogramas y los volúmenes de almacenamiento necesarios para el diseño de estructuras pluviales. Estos procedimientos han sido aplicados en pequeñas cuencas hidrográficas urbanizadas en los Estados Unidos.
- b. El TR-55 utiliza el método gráfico para calcular el caudal pico del hidrograma. El desarrollo de este procedimiento está atado a las distribuciones temporales de lluvia tipo I, IA, II y III del NRCS, las cuales ya no aplican a Puerto Rico.
- c. Si este método es utilizado por el diseñador, deberá asegurarse que suple las distribuciones temporales de lluvia para Puerto Rico presentadas en las “Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico” [7], que la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración y que sustituye la ecuación de la onda cinemática del NRCS para el cómputo del tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa por la Ecuación 3.10 de este reglamento (ver Sección 3.11.1).
- d. Este reglamento provee un método alternativo al presentado en el TR-55 para calcular el tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa que utiliza las distribuciones temporales de lluvia para Puerto Rico.

3.2.5

Technical Release 20 (TR-20)

- a. El Programa Informático para la Formulación de Proyectos de Hidrología (TR-20) es un modelo de eventos de escorrentía a escala de cuenca con base física. Calcula la escorrentía directa y desarrolla hidrogramas resultantes de cualquier lluvia sintética o natural.
- b. El TR-20 utiliza el método del hidrograma unitario para calcular el caudal pico y el hidrograma resultante de un evento de lluvia.
- c. El cómputo para el tiempo de concentración utiliza las mismas ecuaciones del método de velocidad del TR-55. La ecuación de la onda cinemática para calcular el tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa está atada a la distribución temporal de lluvia tipo II del NRCS, la cual ya no aplica a Puerto Rico.
- d. Si este método es utilizado por el diseñador, deberá asegurarse que suple las distribuciones temporales de lluvia para Puerto Rico presentadas en las “Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico” [7] y que sustituye la ecuación de la onda cinemática del NRCS para el cómputo del tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa por la Ecuación 3.10 de este reglamento (ver Sección 3.11.1).
- e. Este reglamento provee un método alternativo al TR-20 para calcular el tiempo de viaje en el régimen de flujo en capa que utiliza las distribuciones temporales de lluvia para Puerto Rico.

3.2.6

Technical Paper No. 42 (TP-42)

- a. El TP-42 [9] fue sustituido por el NOAA Atlas 14 [6] [10]. Por lo tanto, su uso en el diseño de sistemas de alcantarillados pluviales en Puerto Rico no es permitido.

3.2.7

Distribución Temporal de Lluvia Tipo II del NRCS

- a. La distribución temporal de lluvia tipo II del NRCS ha sido sustituida por nuevas distribuciones desarrolladas por la NOAA para Puerto Rico y publicadas en el informe “Precipitation-Frequency Atlas of the United States - Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands” de la NOAA [6] y en las Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico [7]. Por lo tanto, no se permite el uso de la distribución temporal de lluvia tipo II en el diseño de sistemas de alcantarillados pluviales en Puerto Rico.

SECCIÓN 3.3 EVENTOS DE LLUVIA PARA EL DISEÑO

3.3.1 Evento de Lluvia de Diseño

- a. El evento de lluvia de diseño produce el caudal de diseño que se utilizará en el dimensionamiento de la tubería y otras estructuras del sistema pluvial.
- b. Se determinará el evento de lluvia de diseño correspondiente a una recurrencia, según establecidas en la Tabla 3.1, y para una duración igual al tiempo de concentración, t_c , del área de captación del punto de interés.

3.3.2 Sistema Mayor

- a. El sistema mayor recoge las aguas de escorrentía que el sistema menor no puede manejar cuando su capacidad hidráulica es excedida.
- b. El sistema mayor lo forman estructuras de detención y retención, calles, tuberías y canales que dirigen las aguas hacia esas estructuras u otros desagües diseñados para eventos de estas magnitudes.
- c. El sistema mayor se planificará y diseñará para eventos de lluvia de diseño con período de recurrencia igual a 100 años. En ningún caso se permitirá diseñar para una recurrencia menor, pero sí se permitirá utilizar recurrencias mayores cuando el diseñador entienda que es necesario y esté respaldado por los resultados de los estudios y análisis requeridos.

3.3.3 Sistema Menor

- a. El sistema menor es la porción del sistema de alcantarillado pluvial diseñada para transportar la escorrentía correspondiente a eventos de lluvia con probabilidades de excedencia menores o iguales a 50 años. El sistema menor consiste en cunetas, encintados, pocetos, tuberías, pozos de registro, canales y elementos de diseño de bajo impacto dentro del sistema de drenaje pluvial.
- b. El diseño para el sistema menor se hará utilizando un evento de lluvia de diseño con la recurrencia indicada en la Tabla 3.1.

3.3.4 Duración del Evento de Lluvia de Diseño

- a. La duración del evento de lluvia para la determinación del caudal de diseño corresponde al tiempo de concentración, t_c , del área de captación para cada punto de interés en el diseño (ver Sección 3.11).

3.3.5 Profundidades e Intensidades de Lluvia para los Eventos de Diseño

- a. Las profundidades e intensidades de lluvia para el evento de diseño se obtendrán de la versión más reciente del Atlas 14 “Point Precipitation Frequency Estimates” de la NOAA [10]. Los datos de intensidades de lluvia se

obtendrán para una serie de tiempo de duraciones parciales (PDS = “Partial Duration Series”). No se permite el uso del TP-42 [9].

SECCIÓN 3.4 CÁLCULO DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

- a. El cálculo de caudales de diseño para el dimensionamiento de los pocetos, tuberías, charcas de detención y retención y otras estructuras del sistema pluvial se hará utilizando el procedimiento del hidrograma unitario del NEH-630 y las Ecuaciones (3.1 y (3.2 presentadas en el Apéndice 3.A' - Cómputo de Caudal de Diseño.
- b. Para el dimensionamiento de todos los elementos de sistema pluvial, con excepción de las estructuras de almacenamiento de agua (estructuras de control de escorrentía), se utilizará el hidrograma unitario triangular o curvilíneo.
- c. Para las estructuras de almacenamiento de agua (estructuras de control de escorrentía y LIDs) se utilizará el hidrograma unitario curvilíneo.
- d. El procedimiento consiste en determinar el Número de Curva, CN, la escorrentía directa y el tiempo de concentración, t_c , el cual se utilizará para determinar la duración del evento de lluvia. Luego se determinará el tiempo al pico, T_p , y el caudal pico, q_p , en el hidrograma unitario y finalmente el caudal pico del hidrograma del evento de lluvia de diseño. Los detalles sobre cómo aplicar este procedimiento se presentan en las secciones subsiguientes y en los apéndices de este capítulo.

3.4.1 Cálculo del Número de Curva (CN) en el Área del Proyecto

- a. La combinación de un grupo hidrológico de suelo y una clase de uso y tratamiento de suelo constituye un complejo hidrológico de suelo-cubierta. El Capítulo 9 del NEH-630” [2] ofrece tablas y gráficos de los Números de Curva, CN, asignados a dichos complejos.
- b. La condición de humedad antecedente será la AMC II. Se podrá utilizar otra condición de humedad antecedente siempre y cuando se demuestre, sin lugar a duda, que la condición de humedad propuesta producirá un sistema pluvial más robusto y seguro que para la condición AMC II.

3.4.1.1 Áreas permeables e impermeables

- a. La estimación del CN para cada subárea del sistema de drenaje dependerá de la proporción de superficie permeable e impermeable que tenga el desarrollo o el sitio del proyecto. Por lo tanto, se identificarán las áreas permeables y las impermeables por separado.
- b. El método para calcular el Número de Curva depende de los patrones de drenaje del lugar donde se llevará a cabo el proyecto. Es vital que el CN refleje la

conexión entre áreas que permiten infiltración (permeables) y aquellas que son impermeables. En todo desarrollo habrá una mezcla de ambas condiciones.

- c. Las áreas impermeables están directamente conectadas cuando el flujo de escorrentía se mueve esparcido sobre la superficie y descargan directamente en las cunetas de las calles o en algún componente del sistema de drenaje pluvial (p. ej., aceras, rampas, entre otros). La Figura 3.2 muestra este concepto para un lote típico en un desarrollo residencial.
- d. El método del Número de Curva es no-lineal, por lo tanto, en ocasiones donde ocurren mezclas de superficies permeables e impermeables, el uso directo de un promedio pesado para el CN de toda el área puede dar volúmenes de escorrentía incorrectos. Esta advertencia se recalca especialmente en lo referente al término de las abstracciones iniciales en el método de cálculo [8] [3].
- e. En el caso de un desarrollo urbano, el diseñador estimará la distribución y conectividad de zonas permeables e impermeables según el tipo de estructura que se pretende desarrollar. Así mismo, se establecerá si las áreas estarán conectadas o desconectadas al sistema de drenaje. Esta información es fundamental para estimar el CN y el tiempo de concentración. El Apéndice 3.B - Cómputo del Número de Curva ("CN") incluye los detalles para cálculo de CN con áreas permeables e impermeables.
- f. La forma, pendiente y cubierta vegetal de la zona permeable debe ser capaz de resistir la erosión y mantener flujo en capa.
- g. La pendiente máxima en las áreas permeables es de 8 por ciento.

3.4.2

Cálculo de Tiempo de Concentración, t_c

- a. El cálculo del tiempo de concentración se hará utilizando una combinación entre la ecuación de la onda cinemática para calcular el tiempo de viaje (tiempo de equilibrio) para el régimen de flujo en capa ("sheet flow") sobre la superficie del terreno y el Método de Velocidad desarrollado por el NRCS. Los detalles para la aplicación de estos métodos, ejemplos de cálculos y limitaciones se pueden encontrar en el Apéndice 3.C - Cómputo del Tiempo de Concentración (t_c), en el Capítulo 15 del NEH-630 [4] y en Chin [11].
- b. El tiempo de concentración, t_c , es la suma de los tiempos de viaje, T_t , de cada segmento consecutivo de flujo. Con excepción del segmento de flujo en capa, el tiempo de viaje se calcula a partir de la velocidad de la escorrentía y el largo de viaje del flujo.
- c. Del método desarrollado por el NRCS, solo se utilizarán las ecuaciones correspondientes a los regímenes de flujo concentrado poco profundo y flujo en canal abierto.

- d. Para el régimen de flujo en capa se utilizará la Ecuación 3.10 de la onda cinemática para calcular el tiempo de viaje.
- e. En zonas urbanas se requiere trazar la trayectoria desde el punto más lejano del área de captación hasta el punto de interés (e. j., entrada de un poceto, etc.). El diseñador determinará la trayectoria del agua para calcular el tiempo de viaje de cada segmento de flujo según las características del proyecto. Por ejemplo, en el caso de residencias, normalmente se comenzará en una zona del jardín o patio posterior de la residencia más lejana del poceto, pasará sobre la grama, acera y correrá sobre las cunetas hasta llegar a la entrada del poceto.
- f. En esta parte del análisis se determinará si las áreas impermeables están conectadas o desconectadas del sistema de drenaje, y se estimará la longitud del tramo del viaje del agua sobre las diferentes zonas.
- g. Refiriéndose a la conectividad de las áreas para calcular el CN, en casos donde la porción impermeable directamente conectada y la porción permeable del terreno tengan tiempos de concentración muy diferentes (Caso 1: Áreas permeables e impermeables directamente conectadas), el diseñador puede considerar calcular diferentes hidrogramas y luego combinarlos como si fueran dos cuencas distintas, para calcular el caudal pico de diseño.
- h. Donde el área impermeable no está conectada directamente con el sistema de drenaje, sino que existe una zona permeable antes (Caso 2: Áreas impermeables desconectadas), el tiempo de concentración se calcula usando la velocidad sobre el área permeable presumiendo flujo en capa en el límite superior de esta área.
- i. El tiempo de concentración mínimo para propósitos de esta metodología es de 6 minutos (0.10 horas).
- j. El Apéndice 3.C - Cómputo del Tiempo de Concentración (t_c) presenta detalles para la estimación del tiempo de viaje y tiempo de concentración para el diseño.

SECCIÓN 3.5 MODELAJE Y SIMULACIONES

- a. Se construirá un modelo hidrológico e hidráulico del sistema pluvial siguiendo el resultado del diseño preliminar. Todos los diseños serán verificados mediante simulaciones utilizando aplicaciones de computadora para analizar su funcionamiento y respuesta a cada evento de lluvia de diseño según se establece en las siguientes secciones. Solo se aceptarán aplicaciones de computadora diseñadas específicamente para la simulación de sistemas de alcantarillado y drenaje pluvial. Cambios y ajustes durante las simulaciones serán incorporados en el diseño final.

3.5.1 Hietogramas para los Eventos de Diseño

- a. Los hietogramas para los eventos de diseño son requeridos para obtener el caudal máximo de diseño y para las simulaciones requeridas en la verificación del diseño preliminar mediante el uso de aplicaciones de computadora.
- b. Los hietogramas se construirán utilizando las distribuciones de lluvia para Puerto Rico presentadas en las “Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos e Hidráulicos en Puerto Rico” [7].

3.5.2 Distribuciones Temporales de la Lluvia

- a. Las distribuciones temporales de la lluvia se obtendrán según la metodología recomendada en las “Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos-Hidráulicos” de la Junta de Planificación (Resolución Número JP-HH-2016) [7], o su versión más reciente.

3.5.3 Duraciones de Lluvia para la Validación del Diseño

- a. El diseño final se validará mediante simulación en computadoras para duraciones de 6, 12 y 24 horas con las distribuciones de lluvia del primero y cuarto cuartil y los percentiles 10 y 90, respectivamente.

3.5.4 Consideración del Cambio Climático

- a. Este reglamento introduce el concepto del cambio climático el cual será considerado en el diseño de los sistemas de alcantarillados pluviales. De esta manera se armonizan las normas de este documento con la política pública establecida por la Ley Núm. 33 del 22 de mayo de 2019, según enmendada, conocida como “Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico”.

3.5.4.1 Definición

- a. Según el Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico del DRNA [12], el concepto de cambio climático ha sido definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, como *“un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.”* [13].

3.5.4.2 Importancia

- a. Los aumentos en precipitación incrementan los niveles y frecuencias de los eventos de inundación urbana. Las proyecciones en el aumento de la intensidad de los eventos de lluvia afectarán el funcionamiento de la infraestructura pluvial por lo que su consideración en el diseño del proyecto es de suma importancia.

3.5.4.3

Incorporación en el diseño

- a. Los efectos de cambio climático serán incorporados en el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial bajo la premisa de que ocurrirá un aumento en la intensidad de los eventos de lluvia en el futuro.
- b. Solo se utilizará para los eventos de 24 horas de duración y para las recurrencias establecidas.
- c. El efecto del cambio climático se incorporará en las simulaciones computadorizadas durante la validación del diseño. Cualquier cambio requerido en esta etapa (p. ej., cambios de diámetro en los tubos, pendientes, material, etc.) se incorporará en el diseño final del sistema. Los incrementos en la magnitud de los eventos por efecto del cambio climático se incorporarán en el hietograma de lluvia previo a la validación del diseño para una duración de 24 horas.
- d. La Agencia de Protección Ambiental del gobierno federal (USEPA, por sus siglas en inglés) proyectó escenarios de cambios en las lluvias de diseño para duraciones de 24 horas y recurrencias de hasta 100 años. La herramienta “Storm Water Management Model - Climate Adjustment Tool” (SWMM-CAT) [14], la cuál puede ser usada en conjunto con la aplicación “Storm Water Management Model” (SWMM), o separadamente, requiere las coordenadas del sitio del proyecto, o el código postal, para generar porcentajes de cambio en precipitaciones y temperaturas locales para eventos de lluvia con duraciones de 24 horas. Estos ajustes se obtuvieron de modelos de cambio climático regionalizados combinados con ajuste de distribuciones probabilísticas a datos históricos y datos generados por las proyecciones obtenidas con los modelos de cambio climático. SWMM-CAT propone tres escenarios: Caluroso/Seco (Hot/Dry), Promedio (Median), y Tibio/Húmedo (Warm/Wet). Los resultados se obtienen para estos escenarios en dos periodos de tiempo: 2020 a 2049 y 2045 a 2074. Como ejemplo, la Figura 3.1 muestra los resultados de las proyecciones para el periodo de 2020 a 2049 en la ciudad de Mayagüez, Puerto Rico. La gráfica provee el porcentaje por el que se aumenta la profundidad de lluvia por efecto del cambio climático proyectado hasta el año 2049.

3.5.4.4

Escenario

- a. Se utilizará el escenario Caluroso/Seco (Hot/Dry) para obtener los por cientos de ajuste para la lluvia.

3.5.4.5

Periodo de tiempo del escenario

- a. El periodo de tiempo que se utilizará para obtener los por cientos de ajuste para la lluvia corresponde al periodo 2045 a 2074.

SECCIÓN 3.6 REFERENCIAS

- [1] NRCS, «Chapter 7 - Hydrologic Soil Groups,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2009, p. 13.
- [2] NRCS, «Chapter 9 Hydrologic Soil-Cover Complexes,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2004, p. 20.
- [3] NRCS, «Chapter 10 Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2004, p. 79.
- [4] NRCS, «Chapter 15 Time of Concentration,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2010, p. 29.
- [5] NRCS, «Chapter 16 Hydrographs,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2007, p. 50.
- [6] G. M. Bonnin, D. Martin, L. Bingshang, P. Tye, Y. Michael y R. David, «Precipitation-Frequency Atlas of the United States - Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands,» NOAA, Silver Spring, MD, 2006 (revised 2008).
- [7] Silva-Araya, W. F. y Rivera-Santos, J., Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos/Hidráulicos en Puerto Rico, San Juan, PR: Junta de Planificación de Puerto Rico, 2016.
- [8] NRCS, «Urban Hydrology for Small Watersheds (TR-55),» United State Department of Agriculture, Washington, DC, 1986.
- [9] U.S. Weather Bureau, «Generalized Estimates of Probable Maximum Precipitation and Rainfall Frequency Data for Puerto Rico and Virgin Islands,» U.S. Weather Bureau, Washington, DC, 1961.
- [10] NOAA, «ATLAS 14 POINT PRECIPITATION FREQUENCY ESTIMATES,» NOAA's National Weather Service Hydrometeorological Design Studies Center, 2016. [En línea]. Available: https://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/pfds_map_pr.html. [Último acceso: April 2021].
- [11] D. A. Chin, Water-Resources Engineering, 4th ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson, 2021.
- [12] DRNA, «Plan Integral de Recursos de Agua de Puerto Rico,» DRNA, San Juan, PR, 2016.
- [13] Naciones Unidas, «Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC),» NU, 1992.
- [14] L. Rossman, «SWMM-CAT Users's Guide,» U.S Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Ohio, 2014.

- [15] R. A. Wurbs y W. P. James, Water Resources Engineering, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- [16] ASCE, «ASCE standard, ANSI/ASCE/EWRI, 45-16, 46-16, 47-16 : standard guidelines for the design of urban stormwater systems.,» ASCE, Reston, VA, 2017.
- [17] ASCE, «Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems,» American Society of Civil Engineers, NY, 1992.
- [18] R. H. McCuen y J. M. Spiess, «Assessment of Kinematic Wave Time of Concentration,» *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 121, n° 3, pp. 256-266, 1995.
- [19] USDA Natural Resources Conservation Service, ««Chapter 2 Estimating Runoff Volume and Peak Discharge» de National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology,» United States Department of Agriculture, Washington DC, 2021.

SECCIÓN 3.7 TABLAS

Tabla 3.1 Periodos de recurrencia, en años, para la determinación del evento de lluvia de diseño.

Tipo de Sistema Pluvial	Uso del Terreno			
	No-Desarrollado y Espacios Abiertos	Residencial	Comercial	Industrial
Menor	25	25	50	50
Mayor†	100	100	100	100

† En el caso de charcas de retención y detención se utilizarán las recurrencias presentadas en la Tabla 6.1.

Tabla 3.2 Coeficientes de escorrentía, C, para uso en las Ecuación 3.10 (adaptado de Wurbs y James [15]).

Uso del terreno	Grupo Hidrológico de Suelo (NRCS) y Pendiente de la Superficie											
	A			B			C			D		
	0-2%	2-6%	6% +	0-2%	2-6%	6% +	0-2%	2-6%	6% +	0-2%	2-6%	6% +
Impermeables	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Comercial	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.89	0.89	0.90
Industrial	0.85	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.88
Autopistas	0.70	0.71	0.72	0.71	0.72	0.74	0.72	0.73	0.76	0.73	0.75	0.78
Residencial:												
Alta Densidad ¹	0.58	0.60	0.61	0.59	0.61	0.64	0.60	0.62	0.66	0.62	0.64	0.69
Media Densidad ²	0.33	0.37	0.40	0.35	0.39	0.44	0.38	0.42	0.49	0.41	0.45	0.54
Baja Densidad ³	0.22	0.26	0.29	0.24	0.28	0.34	0.28	0.32	0.40	0.31	0.35	0.46
Espacios abiertos	0.11	0.16	0.20	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.32	0.22	0.27	0.39

1. Residencial Alta Densidad – más de 40 residencias por hectárea.
2. Residencial Media Densidad – entre 10 y 40 residencias por hectárea.
3. Residencial Baja Densidad – entre 1 y 10 residencias por hectárea.

**Tabla 3.3 Coeficientes de rugosidad de Manning, n , para flujo en capa
(Adaptado de NRCS [8] y ASCE [16])**

Tipo de superficie*	Coeficiente de rugosidad (n)	Tipo de superficie	Coeficiente de rugosidad (n)
Bosques:		Césped ligero	0.20
Sotobosque denso	0.80	Pradera de hierba corta	0.15
Sotobosque ligero	0.40	Pradera (natural)	0.13
Hojarasca densa sobre el suelo	0.20	Zanjas vegetadas	0.095
Gramina tipo Bermuda	0.41	Terreno yermo (sin residuos)	0.05
Pasto	0.35	Superficie pavimentada	0.025
Césped denso	0.35	Superficies lisas (hormigón, asfalto, grava o suelo desnudo)	0.011 - 0.025
Césped denso (mezcla de especies nativas)	0.24	Cunetas y encintado	0.011

* Esta tabla puede ser complementada para otros tipos de superficies no mencionados aquí. También se pueden utilizar rangos de valores para algunas de las superficies publicados en libros de Texto. En ese caso, se informará la fuente utilizada en el informe del diseño.

Tabla 3.4 Coeficientes de Velocidad para Estimar Tiempo de Viaje en el Método de Velocidad en m/s.

Tipo de superficie	Radio Hidráulico (m)	n	k
Cuneta y encintado	0.061	0.011	14.081
Área Pavimentada	0.018	0.011	6.310
Área Pavimentada	0.061	0.025	6.195
Zanjas revestidas con césped	0.122	0.05	4.917
Suelos casi sin vegetación	0.061	0.051	3.037
Pastos de hierba corta	0.061	0.073	2.122
Bosque con mucha hojarasca	0.061	0.202	0.767

Tabla 3.5 Ecuaciones para estimar la velocidad del flujo en cunetas.

Ancho de la vía en metros (pies)	Número de Carriles	Ecuación de Velocidad (m/s)
6 (20)	2	$V = 3.871 S_L^{0.5}$
9 (29)	4	$V = 6.515 S_L^{0.5}$
11 (35)	4	$V = 7.390 S_L^{0.5}$
12 (39)	4	$V = 7.946 S_L^{0.5}$

donde S_L es la pendiente transversal de la calle.

SECCIÓN 3.8 FIGURAS

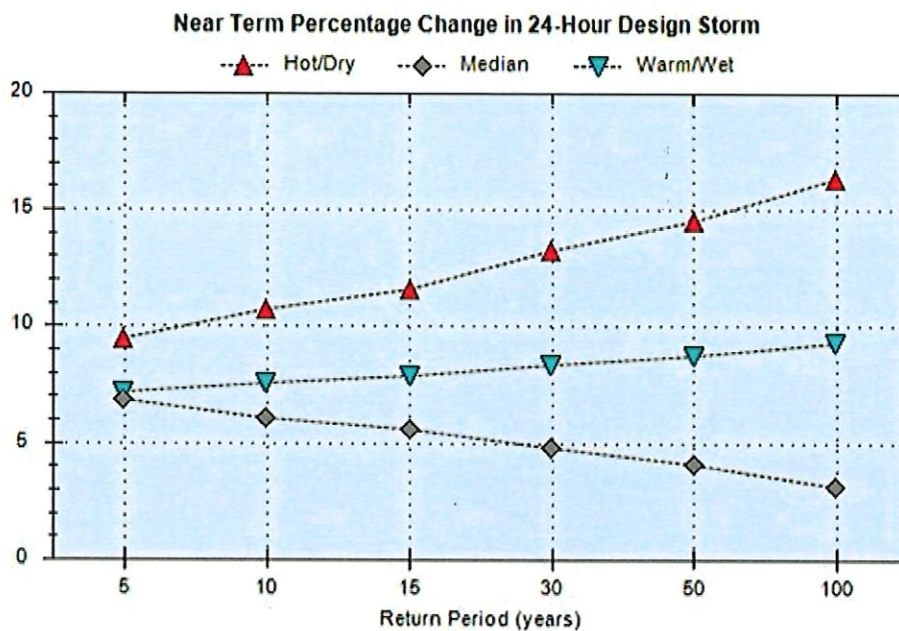


Figura 3.1 Porcentajes de cambio en eventos de lluvia de 24 horas según escenarios de cambio climático para el periodo 2020 a 2049 (SWMM-CAT [14]), en Mayagüez, Puerto Rico.

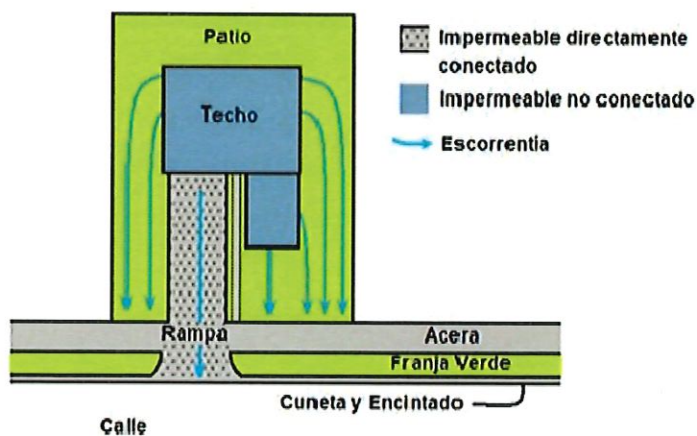


Figura 3.2 Escorrentía de áreas de captación compuestas con zonas impermeables directamente conectadas al sistema de drenaje pluvial

SECCIÓN 3.9 APÉNDICE 3.A - CÓMPUTO DE CAUDAL DE DISEÑO

3.9.1 Caudal de Diseño

- a. El método para determinar el caudal de diseño es el presentado por el NRCS en el método del hidrograma unitario en el Capítulo 16 del “National Engineering Handbook – Part 630” [2]. El caudal pico del hidrograma unitario se obtiene con la Ecuación 3.1(a) para el sistema SI y como la Ecuación 3.1(b) para el sistema USC.

$$(a) \quad q_p = \frac{2.08AQ_u}{T_p} \quad (\text{SI}) \quad (3.1)$$

$$(b) \quad q_p = \frac{484AQ_u}{T_p} \quad (\text{USC})$$

donde q_p es el caudal pico del hidrograma unitario en $\text{m}^3/\text{s}/\text{cm}$ ($\text{p}^3/\text{s}/\text{pulg}$), A es el área de captación en km^2 (mi^2), Q_u es la esorrentía directa unitaria (1 cm o 1 pulgada), y T_p es el tiempo al pico ($T_p = 0.667t_c$) en horas en el hidrograma unitario [5]. Este cálculo producirá el hidrograma unitario ajustado al área de captación estudiada (establecido por el CN y tiempo de concentración) al multiplicar las ordenadas y abscisas del hidrograma unitario adimensional del NRCS por la esorrentía directa unitaria.

- b. Para calcular el caudal de diseño, Q_d , se multiplicará el caudal pico del hidrograma unitario, q_p , por la esorrentía directa, Q , producida por el evento de lluvia de diseño como sigue.

$$Q_d = q_p Q \quad (3.2)$$

3.9.2 Cálculo de la Esorrentía Directa Producida por el Evento de Lluvia de Diseño

- a. La esorrentía directa, Q , se calculará con la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}, \quad P > 0.2S \quad (3.3)$$

donde P es la lluvia total acumulada en cm (pulg), S es la retención máxima potencial de humedad del área de captación en cm (pulg) que mide la capacidad del área de captación para retener agua y se determina para el sistema SI como

$$S = 2.54 \left(\frac{1000}{\text{CN}} - 10 \right) \quad (3.4)$$

y para el sistema USC como

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3.5)$$

donde CN es el Número de Curva para la condición de humedad antecedente promedio (AMC II).

SECCIÓN 3.10 APÉNDICE 3.B - CÓMPUTO DEL NÚMERO DE CURVA (CN)

3.10.1 Generalidades

- El cómputo de los Números de Curva se hará con los valores obtenidos de la Tabla 9-5 del Capítulo 9 del documento “National Engineering Handbook, Part 630” del NRCS [2].
- La Figura 3.2 muestra el concepto de áreas permeables directamente conectadas al sistema pluvial. El área de captación en esta figura consiste en una zona permeable (patios) y dos zonas impermeables separadas (techos y rampa), con sólo una de las zonas impermeable directamente conectada a la cuneta de la calle (rampa). La escorrentía del área de captación compuesta es igual a la escorrentía de la zona impermeable (rampa), que está directamente conectada a la cuneta de la calle, más la escorrentía de la zona permeable (patio), que incorpora la escorrentía procedente de la otra zona impermeable (techos), que no está directamente conectada a la cuneta de la calle. Para calcular la escorrentía directa en el área de captación, las escorrentías directas de cada una de las subáreas se calculan primero utilizando el método del Número de Curva y, a continuación, las escorrentías directas se combinan en la salida del área de captación compuesta.

3.10.2 Caso 1: Áreas permeables e impermeables directamente conectadas

- Si el porcentaje de impermeabilidad y la descripción del uso del terreno coinciden con lo presentados en la Tabla 9-5 del Capítulo 9 del documento “National Engineering Handbook, Part 630” del NRCS [2], el Número de Curva ponderado, $\overline{CN}$, será calculado como el promedio pesado por área con la siguiente ecuación.

$$\overline{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{A} \quad (3.6)$$

donde A_i es la subárea i con CN_i y A es el área total igual a $\sum A_i$.

- Si el porcentaje de impermeabilidad o la descripción del uso del terreno no coinciden con lo presentados en la Tabla 9-5 del Capítulo 9 del documento “National Engineering Handbook, Part 630” del NRCS [2], el Número de Curva ponderado, $\overline{CN}$, será calculado con la siguiente ecuación.

$$\overline{CN} = CN_p + \left(\frac{P_{imp}}{100}\right)(98 - CN_p) \quad (3.7)$$

donde CN_p es el Número de Curva para el área permeable y P_{imp} es el por ciento del área de captación que es impermeable.

3.10.3

Caso 2: Áreas impermeables desconectadas

- a. Áreas impermeables desconectadas son aquellas donde la escorrentía proveniente de una zona impermeable atraviesa una zona permeable antes de descargar en el sistema de drenaje. En estos casos, una porción de la escorrentía se infiltra antes de llegar al sistema de drenaje y sirve para reducir la escorrentía directa. En esto se basa el concepto de las técnicas no-estructurales de desarrollo de bajo impacto (LID, por sus siglas en inglés) que ayudan a reducir el volumen de escorrentía. Además, el tiempo de concentración, entendido como el tiempo que tarda la escorrentía en viajar desde el punto más lejano del área de captación hasta el punto de interés en el sistema de drenaje, debe considerar el flujo sobre las superficies permeables tales como patios, jardines y zonas verdes por las que escurre la escorrentía antes de llegar a las cunetas y los pocetos. Por lo tanto, se requiere la consideración de este aspecto en el diseño.
- b. Circunstancias donde se considera que el área impermeable no está conecta directamente con el sistema de drenaje son [7]:
 1. Cuando la escorrentía que entra en una superficie permeable proviene de una superficie impermeable como flujo en capa. Por ejemplo, la escorrentía de una superficie de hormigón que descarga en un jardín o zona verde. Al pasar a la zona permeable aguas abajo, la escorrentía permanece como flujo en capa.
 2. Cuando los bajantes de los techos de edificios descargan sobre una zona verde. Para promover la infiltración y el flujo en capa, el bajante debe estar equipado con algún sistema para dispersar el agua en forma tal que reduzca su velocidad y promueva el flujo en capa sobre la superficie. El área de techo máxima que se asocia con un bajante debe ser menor de 55 metros cuadrados (600 pies cuadrados) para controlar las descargas.
- c. En el caso de áreas impermeables desconectadas hay dos opciones para calcular el $\overline{CN}$ [8]:
 1. Cuando la superficie impermeable es mayor o igual al 30% del área total, el $\overline{CN}$ se calcula con la Ecuación 3.7.
 2. Si la superficie impermeable es menor al 30% del área total, el $\overline{CN}$ se calcula con la siguiente expresión.

$$\overline{CN} = CN_p + \left(\frac{P_{imp}}{100}\right)(98 - CN_p)(1 - 0.05R) \quad (3.8)$$

donde R es la razón del área impermeable desconectada al área impermeable total.

SECCIÓN 3.11 APÉNDICE 3.C - CÓMPUTO DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (t_c)

- Las relaciones presentadas a continuación se adaptaron para su aplicación directa en la determinación del tiempo de concentración del flujo en capa sobre superficies. El tiempo de concentración se calculará como la suma de los tiempos de viaje para tres regímenes de flujo distintos: estos son flujo en capa, flujo concentrado poco profundo y flujo en canal abierto. Los detalles para calcular el tiempo de viaje en tuberías se incluyen en el Capítulo 5.
- La ecuación para calcular el tiempo de concentración es como sigue.

$$t_c = \sum_{i=1}^m T_{t_i} \quad (3.9)$$

donde T_{t_i} es el tiempo de viaje para el segmento i y m es el número de segmentos en el cual se ha dividido el largo de flujo total.

- En todo caso, el tiempo de concentración no será menor de 6 minutos (0.10 horas).

3.11.1 Tiempo de Viaje para Flujo en Capa, T_t

- El flujo en capa tiene un efecto retardador importante en el estimado del tiempo de concentración [7]. Este tipo de flujo ocurre en los inicios, o partes altas, del área de captación.
- La ecuación para el tiempo de viaje, T_t , en minutos, utilizando la ecuación de la onda cinemática, es como sigue [17].

$$T_t = \frac{C_s}{(Ci)^{0.4}} \left(\frac{nL_s}{\sqrt{S_{0c}}} \right)^{0.6} \quad 3.10$$

donde L_s es el largo de flujo sobre la superficie en metros, n es el coeficiente de rugosidad de Manning (ver Tabla 3.3), S_{0c} es la pendiente promedio (m/m o pies/pies) de la superficie donde se sostiene el régimen de flujo en capa, C es un coeficiente de escorrentía (ver Tabla 3.2), i es la intensidad uniforme y constante de la lluvia en mm/hr (pulg/hr) para la recurrencia y duración de lluvia utilizadas en el análisis y C_s es 6.99 para el sistema de unidades SI o 0.938 para el sistema USC.

- c. Dado que el tiempo de viaje depende de la intensidad de la lluvia y al mismo tiempo, la intensidad de la lluvia depende del tiempo de viaje, el proceso para resolver la ecuación es iterativo. Con los datos de coeficiente de rugosidad de Manning, longitud de viaje, coeficiente de escorrentía y la pendiente promedio del terreno conocidos, se procede a resolver la Ecuación 3.10 iterativamente hasta que ambos lados de la ecuación tengan el mismo valor. La forma más sencilla para resolver la ecuación es igualando la ecuación a cero y buscar la raíz que hace que la igualdad sea cierta (aplicaciones de hojas de cálculo electrónicas poseen funciones que hacen esta operación automáticamente).

3.11.1.1 Longitud máxima de viaje para flujo en capa, L_{max}

- a. El largo de flujo, L_s , se estimará de los planos conceptuales del proyecto, pero no debe exceder el valor máximo permitido para la aplicabilidad de la ecuación de la onda cinemática.
- b. La longitud a lo largo de la cual prevalece este tipo de flujo depende de la pendiente del terreno y de su coeficiente de rugosidad de Manning. El criterio para determinar el valor máximo de la longitud, L_{max} , en metros (pies) para el flujo en capa usando el valor del coeficiente de rugosidad de Manning, n , y la pendiente del terreno, S_{0c} , es [18]

$$L_{max} = C_s \frac{\sqrt{S_{0c}}}{n} \quad (3.11)$$

donde C_s es igual a 30.179 para el sistema de unidades SI o 100 para el sistema USC.

- c. Si $L_s > L_{max}$, el valor de L_s para uso en la Ecuación 3.10 será el calculado por la Ecuación 3.11. Si $L_s \leq L_{max}$, entonces L_s será la longitud medida de los planos.

3.11.1.2 Coeficientes de rugosidad de Manning, n , para flujo en capa

- a. Los valores n para usar con las ecuaciones 3.10 y 3.11 se dan en la Tabla 3.3 y son para profundidades de flujo muy poco profundas, más o menos 3 cm (1.2 pulg); estos valores reflejan los efectos del impacto de las gotas de lluvia, el arrastre sobre superficies planas, los obstáculos como la hojarasca, tallos, rocas, la erosión y el transporte de sedimentos. No se debe confundir con valores de n para superficies en el régimen de flujo de canal abierto.

3.11.1.3 Pendiente promedio de la superficie de flujo

- a. Para los casos donde los solares tengan una pendiente uniforme, la pendiente promedio de la superficie de flujo será la utilizada en el diseño de los solares.
- b. Cuando los solares no tengan una pendiente uniforme, la pendiente promedio se podrá ser determinada mediante técnicas de SIG (GIS, por sus siglas en

inglés), por medio de análisis de cuadrículas sobreimpuestas en planos topográficos o promediando al menos tres pendientes representativas del predio. La pendiente promedio de la superficie de flujo se puede obtener por cualquier de estos métodos como sigue [19].

1. Midiendo la longitud de los contornos del terreno, sumando esas longitudes, multiplicando por el intervalo entre contornos y dividiendo entre al área de drenaje que abarcan esos contornos.
 2. Dibujando un mínimo de tres líneas perpendiculares a los contornos en los planos topográficos del terreno, determinando la pendiente de cada línea y promediándolas.
 3. Usando sistemas de información geográfica.
- c. Se resalta que la pendiente no es la pendiente del curso, o trayecto, utilizado para medir la distancia de flujo, sino que es un promedio de toda la superficie de flujo o área de captación.

3.11.1.4 Intensidad de la lluvia y curvas IDF

- a. La intensidad de la lluvia corresponde a un evento de lluvia con duración igual al tiempo de concentración. La información proviene de una curva IDF (Intensidad, Duración, y Frecuencia).
- b. La curva IDF se construirá con datos de intensidad de lluvia para las recurrencias requeridas. Los datos se obtendrán del Atlas 14 de la NOAA [10].
- c. Se utilizará la serie de tiempo para Duración Parcial en el Atlas 14 de la NOAA.
- d. Para simplificar el proceso de iteración en la solución de la Ecuación 3.10, se ajustará la siguiente ecuación para describir las curvas IDF.

$$i = \frac{a}{(t_c + b)^c} \quad (3.12)$$

donde i es la intensidad de la lluvia en mm/hr (pulg/hr) y a , b y c son constantes de regresión que dependen de la localización del proyecto y de la recurrencia de la lluvia.

- e. Los valores de las constantes a , b y c se obtienen al ajustar la Ecuación 3.12 a los datos obtenidos del Atlas 14. El Ejemplo 3.1 – Construcción de las curvas IDF muestra el proceso.

3.11.1.5 Coeficiente de escorrentía, C

- a. El coeficiente de escorrentía atiende las pérdidas de la lluvia (iniciales y por infiltración). El producto Ci corresponde a la lluvia efectiva (lluvia en exceso) a ser utilizada en la Ecuación 3.10. Los valores del coeficiente de escorrentía

se obtienen de la Tabla 3.2 para los diferentes usos de terreno, grupos hidrológicos del suelo y pendientes del terreno.

3.11.1.6 Solución de la Ecuación 3.10

- La Ecuación 3.10 depende de la Ecuación 3.12 para determinar la intensidad de la lluvia. Esta dependencia hace que el conjunto de estas ecuaciones sea uno de carácter recursivo.
- La solución de esta ecuación requiere un proceso iterativo debido a la recursividad entre las ecuaciones. El proceso para llegar a la solución se demuestra mediante el Ejemplo 3.2 –Procedimiento para la solución de la Ecuación 3.10.

3.11.2 Tiempo de Viaje para Flujo Concentrado Poco Profundo

- Después de aproximadamente una longitud igual a L_{max} , el flujo en capa suele convertirse en un flujo concentrado poco profundo que se acumula en zanjas, cárcavas y pequeños surcos. En muchas ocasiones este régimen de flujo no se desarrolla en proyectos urbanos debido al uso de canales rígidos o revestido con vegetación con régimen en flujo de canal abierto.
- La velocidad del flujo concentrado poco profundo sobre la superficie del terreno depende de la pendiente y del radio hidráulico. El NRCS [4] ha desarrollado la siguiente ecuación para flujo concentrado poco profundo.

$$V = kS^{0.5} \quad (3.13)$$

donde V es la velocidad del flujo en m/s (p/s), S es la pendiente de terreno a lo largo de la trayectoria del flujo y k es el factor de transporte de Manning que depende mayormente del tipo de superficie.

- La Tabla 3.4 muestra los valores de k para determinar la velocidad del flujo concentrado poco profundo para pavimentos, zonas con grama y suelos sin vegetación.
- Cuando se conoce la longitud del recorrido de flujo, L_{sp} (m o p) y se ha calculado la velocidad, V , el tiempo de viaje, T_t , en minutos, se determina con la siguiente ecuación.

$$T_t = \frac{L_{sp}}{60 V} \quad (3.14)$$

3.11.3 Tiempo de Viaje para Flujo en Canal Abierto

- El flujo en canal abierto es un componente importante del tiempo de concentración. La velocidad de la escorrentía y el caudal en una cuneta es un ejemplo de flujo en canal abierto y varía a lo largo de su trayectoria. El tiempo

de viaje se estima usando una velocidad promedio obtenida a partir del tiempo de viaje a lo largo de la cuneta considerando la variabilidad espacial del caudal.

- b. La velocidad promedio usada para calcular el tiempo de viaje en la cuneta es la correspondiente a un caudal que ocupa el 65% del ancho permitido de la superficie libre del agua, el cual se especifica en la Sección 4.4.1 de este reglamento.
- c. La Tabla 3.5 presenta las relaciones para velocidad del flujo en cunetas en vías de 6 m (20 p), 9 m (29 p), 11 m (35 p) y 12 m (39 p) que se usarán para estimar el tiempo de viaje del agua en cunetas. Estas relaciones presumen un coeficiente de Manning de 0.014 para la superficie y una pendiente transversal de 0.02.
- d. El tiempo de viaje en la cuneta se calcula con la siguiente ecuación.

$$T_t = \frac{L_{ch}}{60 V} \quad (3.15)$$

donde L_{ch} es la longitud de viaje del flujo en la cuneta en metros (pies) (flujo en canal abierto).

- e. Para otros anchos de pavimento, se usará el ancho superior correspondiente en la Tabla 3.5. Por ejemplo, si la vía mide 7 m de ancho, se usa la relación para una vía de 9 m de ancho.

3.11.4 Tiempo de viaje en otros conductos

- a. Para estimar el tiempo de viaje en otros conductos, como tuberías y canales, se utilizará la ecuación de Manning adaptada a la geometría del conducto. El cálculo del tiempo de viaje en el sistema de tuberías del alcantarillado se presenta en el Capítulo 5 de este reglamento.

3.11.5 Ejemplo 3.1 – Construcción de las curvas IDF

Construya las curvas IDF para el área de Mayagüez (coord: 18.2115°, - 67.1430°) y para las recurrencias de 25-, 50- y 100-años.

Procedimiento: Del Atlas 14 de la NOAA, con las coordenadas del proyecto, se obtienen las intensidades de lluvia en mm/hr para cada una de las recurrencias y duraciones de lluvia entre 5 minutos y 24 horas. Los datos provienen de la serie de tiempo de duraciones parciales. Utilizando una hoja de cálculo y la función “Solver” se optimizó la suma de los errores cuadrados (minimizando la función objetiva) para obtener los valores de las constantes de regresión, a , b y c en la Ecuación 3.12.

Usualmente, las intensidades para duraciones pequeñas siguen un comportamiento diferente a las correspondientes a duraciones más largas, por

lo que el análisis se divide en duraciones de 5 a 30 minutos y 1 a 24 horas. Los rangos de duraciones no siempre se van a agrupar de esta manera, por lo que se deben evaluar otros rangos hasta obtener un comportamiento razonable entre los dos grupos.

Las siguientes figuras muestran el procedimiento utilizando una hoja de cálculo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1		Point precipitation frequency estimates (millimeters/hour)														
2		NOAA Atlas 14 Volume 3 Version 4														
3		Data type: Precipitation intensity														
4		Time series type: Partial duration														
5		Project area: Puerto Rico and U.S. Virgin Islands														
6		Location name (ESRI Maps): Mayaguez, Puerto Rico, PRI														
7		Station Name:														
8		Latitude: 18.2115°														
9		Longitude: -67.1430°														
10		Elevation (USGS): 7 m														
11																
12																
13		PRECIPITATION FREQUENCY ESTIMATES														
14		by duration for ARI (years):														
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																

Valores calculados con la siguiente ecuación,

$$I = \frac{a}{(t_c + b)^c}$$

y valores presumidos de las constantes.

Duration		Observed Values			Predicted Values			Square errors		
label	min	25 yr	50 yr	100 yr	25 yr	50 yr	100 yr	25 yr	50 yr	100 yr
5-min:	5	245	265	286	245.01	265.01	286.02	0.00	0.00	0.00
10-min:	10	167	181	196	166.77	180.86	195.56	0.05	0.02	0.20
15-min:	15	143	155	167	143.37	155.22	167.72	0.14	0.05	0.52
30-min:	30	115	124	134	114.85	123.91	133.69	0.02	0.01	0.10
60-min:	60	85	92	99						
2-hr:	120	56	62	67						
3-hr:	180	41	46	51						
6-hr:	360	26	30	34						
12-hr:	720	17	20	23						
24-hr:	1440	11	13	15						
Square Errors Sum =								0.21	0.08	0.82

	25 yr	50 yr	100 yr
a =	275.093	302.450	329.120
b =	-3.456	-3.374	-3.332
c =	0.266	0.272	0.274

Valores obtenidos utilizando la función "Solver".
Se minimizó la suma de los errores al cuadrado utilizando el método de optimización "GRG Nonlinear"

Valores calculados con la siguiente ecuación,

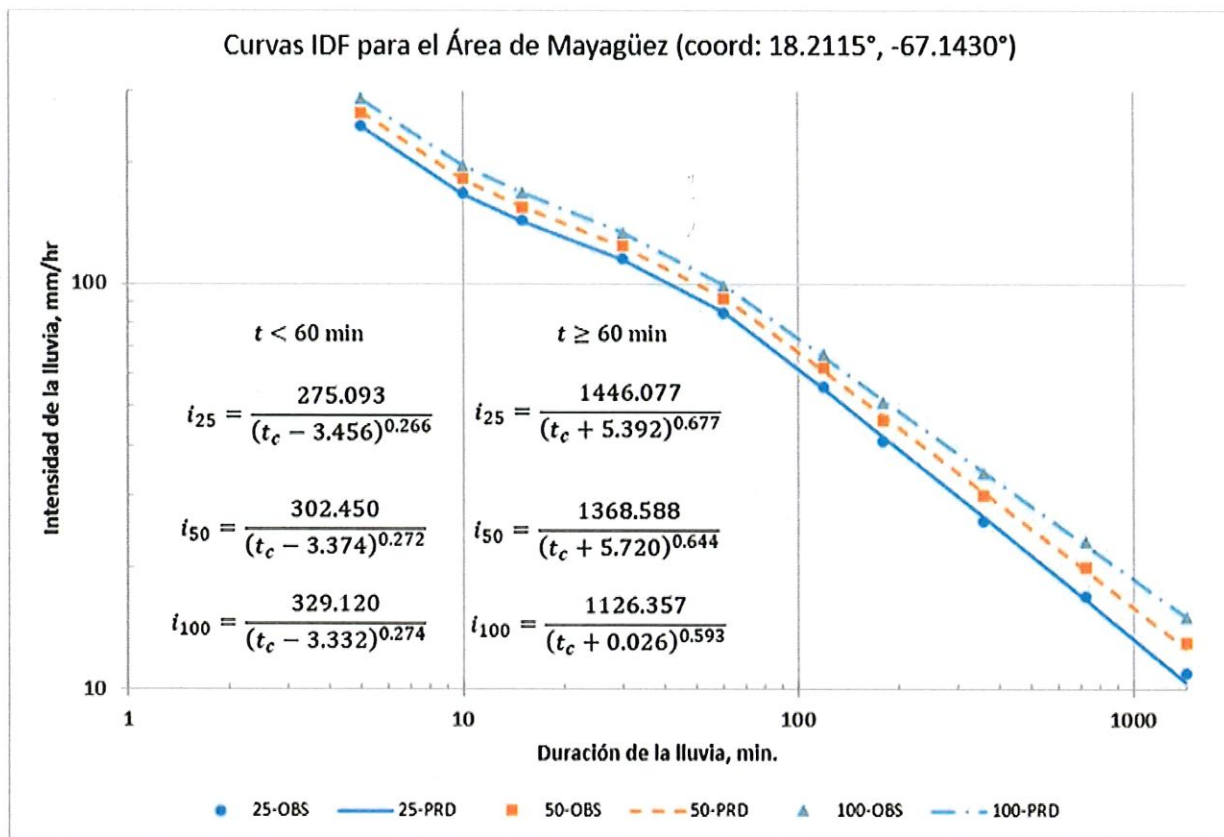
$$I = \frac{a}{(t_c + b)^c}$$

y valores presumidos de las constantes.

Duration		Observed Values			Predicted Values			Square errors		
label	min	25 yr	50 yr	100 yr	25 yr	50 yr	100 yr	25 yr	50 yr	100 yr
5-min:	5	245	265	286						
10-min:	10	167	181	196						
15-min:	15	143	155	167						
30-min:	30	115	124	134						
60-min:	60	85	92	99	85.19	92.21	99.30	0.04	0.04	0.09
2-hr:	120	56	62	67	54.81	60.70	65.84	1.41	1.68	1.35
3-hr:	180	41	46	51	42.06	47.21	51.77	1.12	1.45	0.59
6-hr:	360	26	30	34	26.56	30.50	34.32	0.31	0.25	0.10
12-hr:	720	17	20	23	16.69	19.61	22.75	0.09	0.15	0.06
24-hr:	1440	11	13	15	10.46	12.58	15.08	0.29	0.18	0.01
Square Errors Sum =								3.26	3.76	2.20

	25 yr	50 yr	100 yr
a =	1446.077	1368.588	1126.357
b =	5.392	5.720	0.026
c =	0.677	0.644	0.593

Valores obtenidos utilizando la función "Solver".
Se minimizó la suma de los errores al cuadrado utilizando el método de optimización "GRG Nonlinear"



3.11.6

Ejemplo 3.2 –Procedimiento para la solución de la Ecuación 3.10

Para el ejemplo anterior, calcule el tiempo de concentración para el régimen de flujo en capa. Las características del proyecto son las siguientes:

1. Patio de una residencia con césped bien establecido (espacio abierto, permeable).
2. Coeficiente de rugosidad de la superficie de flujo (césped denso = 0.35).
3. Largo hidráulico del flujo (según medido en los planos) = 42.5 m.
4. Pendiente promedio de la superficie de flujo = 2.8 %
5. Grupo hidrológico del suelo (GHS) = B

Procedimiento: Utilizando una hoja de cálculo y la función “Solver”, se obtiene la siguiente solución.

Dado:

$$n = 0.35$$

$$L_s = 42.5 \text{ m}$$

$$S_0 = 2.8 \%$$

1. De la Tabla 3.2, para espacio abierto, GHS = 8 y pendiente de 2.8%

$$C = 0.19$$

2. Cotejo de longitud máxima de viaje

$$\text{con } C_s = 30.179$$

$$L_{max} = C_s \frac{\sqrt{S_{0c}}}{n} = 14.428 \text{ m}$$

$$\text{por lo tanto, } L_s = 14.428 \text{ m}$$

3. Iteraciones con las Ecuaciones 3.10 y 3.12:

3.a. Manipulando la Ecuación 3.10 para igualarla a cero, y utilizando la ecuación 3.12 con los valores de las constantes a , b y c determinados anteriormente...

$$T_t - \frac{6.99}{(Ci)^{0.4}} \left(\frac{nL}{\sqrt{S_0}} \right)^{0.6} = 0$$

$$i = \frac{a}{(t_c + b)^c}$$

Resolver estas dos ecuaciones simultáneamente utilizando la función "Solver". Fíjese que estas dos ecuaciones son recursivas, por lo que se requiere un proceso de iteración para conseguir la solución.

El proceso para obtener la solución de estas ecuaciones se repite para cada grupo de duraciones y para cada recurrencia. En este caso en particular, este conjunto de ecuaciones se resuelve seis veces como se muestra en la siguiente figura. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Duración, min	25 años	50 años	100 años
< 60	14.30 min	13.78 min	13.29 min
> 60	12.47 min	12.30 min	11.20 min

Aunque el cómputo se hizo utilizando ambos campos de valores ($t_c < 60$ min y $t_c > 60$ min), los resultados indican que se deben usar las ecuaciones para el rango de $t_c < 60$ min.

$t_c < 60 \text{ min}$	$t_c < 60 \text{ min}$	$t_c < 60 \text{ min}$
Para recurrencia de 25 años: $a = 275.093$ $b = -3.456$ $c = 0.266$	Para recurrencia de 50 años: $a = 302.450$ $b = -3.374$ $c = 0.272$	Para recurrencia de 100 años: $a = 329.120$ $b = -3.332$ $c = 0.274$
Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 130.3 5.0421	Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 140.8 5.5017	Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 152.1 5.9408
Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 14.30 145.8 0.0000	Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 13.78 160.0 0.0000	Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 13.29 175.2 0.0000
$t_c \geq 60 \text{ min}$	$t_c \geq 60 \text{ min}$	$t_c \geq 60 \text{ min}$
Para recurrencia de 25 años: $a = 1446.077$ $b = 5.392$ $c = 0.677$	Para recurrencia de 50 años: $a = 1368.588$ $b = 5.720$ $c = 0.644$	Para recurrencia de 100 años: $a = 1126.357$ $b = 0.026$ $c = 0.593$
Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 161.7 6.2810	Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 168.8 6.5148	Valores iniciales: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 20 190.4 7.1497
Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 12.47 205.2 0.0000	Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 12.30 212.3 0.0000	Valores optimizados: $T_t \text{ (min)} \quad i \text{ (mm/hr)} \quad \text{Solc.}$ 11.20 268.4 0.0000

CAPÍTULO 4 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DE CARRETERAS Y CALLES

SECCIÓN 4.1 PROPÓSITO

- a. Este capítulo presenta los criterios y las características geométricas e hidráulicas de las cunetas. Incluye además los tipos de pocetos y el cálculo de su capacidad hidráulica en zonas de pendiente regular y en condiciones de empozamiento. El capítulo finaliza con una descripción del procedimiento de cálculo para ubicación y dimensionamiento de los pocetos de rejilla y de entrada lateral.

SECCIÓN 4.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO

- a. El diseño para el drenaje de carreteras depende de los siguientes factores:
 - Tipo de sistema que se diseña; sistema menor o sistema mayor.
 - Magnitud, duración y frecuencia de la lluvia de diseño.
 - Características de rugosidad, pendiente y ancho de la carretera.
 - El tipo de borde (cuneta con encintado o zanja de desagüe).
 - La profundidad de inundación permitida.
- b. El diseño del drenaje de carreteras se compone de dos sistemas: sistema menor y sistema mayor.

4.2.1 Sistema Menor

- a. El sistema menor se compone de cunetas, pocetos, registros, tuberías subterráneas y medidas de desarrollo de bajo impacto.
- b. El objetivo en el diseño del sistema de drenaje menor es mantener un nivel de servicio en las carreteras durante los eventos de lluvia para proveer paso seguro a los vehículos, prevenir el empozamiento de las aguas por periodos de tiempo prolongados y proteger la seguridad de los peatones y conductores. Para esto es necesario que estos sistemas cuenten con capacidad para contener el caudal con el fin de dirigir las escorrentías adecuadamente hacia los pocetos u otros puntos de drenaje.
- c. La metodología que se seguirá es la de estimar el caudal de ingreso hacia las tuberías del sistema menor partiendo de la capacidad de los pocetos ubicados en las cunetas.
- d. Se usarán los principios de hidráulica para estimar la porción del caudal interceptado por el poceto y el flujo que continua a lo largo de la cuneta.

4.2.2

Sistema Mayor

- a. El sistema mayor lo forman estructuras de detención y retención, calles, tuberías y canales que dirigen las aguas hacia esas estructuras u otros desagües diseñados para eventos de estas magnitudes.
- b. El sistema mayor se utiliza para manejar eventos de gran magnitud (usualmente de 100 años de recurrencia). En este caso la escorrentía puede exceder la capacidad de las carreteras y los niveles de las aceras, y el tráfico de vehículos se verá afectado ya que las calles se convierten en canales de agua.
- c. El diseño debe prevenir acumulaciones de agua excesivas y considerar la seguridad de los habitantes y la minimización de los daños por inundación.

SECCIÓN 4.3 CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS

- a. La Tabla 4.1 muestra la clasificación de la carretera según su función, sus dimensiones y velocidad, la cual se utilizará como criterio para calcular el caudal máximo permitido sobre las carreteras y calles [1].

SECCIÓN 4.4 CRITERIOS PARA PROFUNDIDAD DE LA ESCORRENTÍA EN CALLES Y CUNETAS PARA DISEÑO DEL SISTEMA MENOR

- a. La profundidad de la escorrentía dependerá de la separación entre pocetos (distancia entre pocetos), entre otros elementos a ser considerados.
- b. Se usarán dos criterios para calcular la separación de los pocetos en el diseño del sistema de drenaje menor. Ambos criterios se deben comparar para determinar el caudal máximo sobre la sección de carretera previo a ser interceptado por un poceto. Se seleccionará aquel criterio cuyo caudal de diseño será el menor de los dos.

4.4.1

Criterio de Ancho Máximo de la Superficie Inundada de Carreteras y Calles

- a. En toda carretera local, o colectora, debe quedar un ancho mínimo de un carril de 2 metros (6.56 pies) sin agua durante el evento de lluvia de diseño.
- b. El ancho de la superficie libre del agua se mide perpendicular a la pared del encintado de la cuneta.
- c. En carreteras arteriales el ancho máximo de la inundación debe dejar al menos un carril en cada dirección sin presencia de agua y no deberán inundarse más de dos carriles en cada dirección.
- d. En el caso de las autopistas prevalecerán las regulaciones de la Administración Federal de Autopistas de los Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés).

4.4.2 Criterio de Profundidad Máxima del Agua

- a. En proyectos que incluyen encintado y cuneta, la profundidad del agua durante el evento de lluvia de diseño no excederá la altura del encintado de la cuneta.
- b. La altura máxima del encintado en las calles principales o avenidas será de 15 cm ($\approx$ 6 pulg).
- c. En las calles locales de trece (13) metros o menos de servidumbre se podrá usar un encintado de 10 cm ($\approx$ 4 pulg) de alto sobre el pelo de agua.
- d. La Figura 4.1 muestra la superficie libre del agua sobre la carretera y la profundidad en la cuneta.

4.4.3 Zonas de Depresión

- a. Se considera zona de depresión aquella que corresponde a un punto bajo en la rasante de una vía de rodaje donde se acumula una cantidad considerable de agua y cuya profundidad sobrepasa la altura del encintado o que debido a la topografía final del proyecto no tiene una ruta de desagüe.
- b. En ninguna circunstancia se permitirá que la profundidad del agua en una zona de depresión exceda aquella permitida por el criterio de “Profundidad Máxima del Agua” (Sección 4.4.2).
- c. Se utilizará el evento de lluvia con recurrencia de 50 años y 24 horas de duración para diseñar en zonas de depresión en las cuales el agua empozada solamente se puede desaguar mediante el sistema de alcantarillado pluvial. A partir de este punto el sistema pluvial (aguas abajo) deberá diseñarse para el evento de lluvia de 50 años y 24 horas.

4.4.4 Elevación del Nivel de Piso Terminado

- a. El nivel de piso terminado de las residencias debe estar a 30 cm ($\approx$ 1 p) sobre el nivel de inundación correspondiente al evento de 100 años de recurrencia y 24 horas de duración.

SECCIÓN 4.5 CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL DRENAJE SUPERFICIAL

4.5.1 Generalidades

- a. Este reglamento requiere que se realice el cálculo hidráulico para determinar los caudales que fluyen en las cunetas y aquellos que son interceptados por los pocetos del sistema de alcantarillado pluvial.
- b. Las ecuaciones que se utilizarán son, en su mayoría las propuestas por la Administración Federal de Autopistas del Gobierno Federal de los Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés) [2]. Algunas de estas ecuaciones han

sido actualizadas con información de nuevos desarrollos en el conocimiento de la ingeniería hidráulica.

4.5.2 Encintados y Cunetas

- a. Se permite usar encintados con o sin cunetas como se muestra en la Figura 4.2.
- b. Se permite el diseño usando cunetas triangulares o cunetas triangulares de sección compuesta que tienen la pendiente de la parte cercana al encintado más pronunciada que la pendiente del pavimento de la carretera (ver Figura 4.8).
- c. La capacidad hidráulica se calcula usando las ecuaciones incluidas en los Apéndices 4.A para diferentes tipos de cunetas.
- d. El uso de badenes está limitado a cruces de calles locales en las intersecciones. No se permite el uso de badenes en las calles principales o subcolectoras.

4.5.3 Pendientes y Anchos de Cunetas

- a. Además de los niveles de inundación máximos permitidos presentados en la Sección 4.4, las calles con cunetas y encintados no tendrán pendientes longitudinales menores de 0.5%.
- b. Las pendientes transversales de las carreteras y calles serán entre 2% y 2.5%.
- c. El ancho típico de las cunetas es de 0.45 m (≈ 1.50 p) o 0.40 m (≈ 1.33 p) para el encintado tipo montable (ver Figura 4.2). Sin embargo, se permitirá usar otros anchos de cuneta que no excedan 1 metro (≈ 3.25 p). Al seleccionar el ancho de la cuneta, debe prevalecer la seguridad para el tránsito vehicular como peatonal.
- d. Las pendientes transversales de las cunetas podrán ser las mismas, o mayores, de la sección transversal de la rasante de la carretera o calle.
- e. La pendiente transversal máxima de la cuneta será 8% [2].
- f. La escorrentía interceptada en cada poceto no será menos del 70% del agua que llega al poceto.

4.5.4 Áreas que Drenan Directamente a Carreteras y Calles

- a. Cuando las áreas que drenan hacia una carretera no corresponden a un solar o terreno urbanizado, las aguas provenientes de laderas o cortes del terreno deben interceptarse antes de que lleguen a la carretera.
- b. En zonas donde no se considera necesario el uso de encintados se diseñarán canales que tengan capacidad hidráulica para drenar las aguas y a la vez, mantengan el tráfico vehicular seguro.
- c. Estos canales se diseñan con revestimientos vegetados resistentes a la erosión u otro material flexible, o con revestimiento de hormigón si fuese necesario.

- d. Se proveerá un medio para disipar la energía en el punto de descarga, de ser necesario.

4.5.5 Drenaje de Agua en los Puentes

- a. Todas las aguas de drenaje pluvial deben ser interceptadas antes de la entrada a los puentes y descargadas adecuadamente.

SECCIÓN 4.6 CRITERIOS DE DISEÑO PARA POCETOS

4.6.1 Ubicación

- a. Los pocetos se ubicarán en los tramos rectos de las cunetas a las distancias que cumplan con los criterios incluidos en este reglamento.
- b. En las curvas e intersecciones, donde las pendientes de las calles se mantienen continuas y en las mismas direcciones, se colocarán los pocetos según se muestra en la Figura 4.3.
- c. Si la intersección corresponde a una zona de depresión, entonces se usará el criterio de la Sección 4.4.3 para el diseño de las parrillas y conductos de drenaje.
- d. Se permitirá construir pocetos directamente sobre tuberías o conductos cuyo diámetro sea de 1,500 mm (60 pulg) o más, siempre y cuando se demuestre que estructuralmente la tubería donde se instale es capaz de resistir las cargas.
- e. Otros criterios de ubicación son los siguientes.
 - En todo punto bajo de las cunetas, carreteras y calles.
 - Aguas arriba de las intersecciones (para evitar que el agua fluya sobre el área de rodaje).
 - Aguas arriba de cruces de peatones.
 - Aguas arriba de puentes.
 - Aguas abajo de puentes si es que estos drenan la escorrentía hacia la carretera o calle que continúa aguas abajo.

4.6.2 Tipos de Pocetos y Entradas Permitidos

- a. Los tipos de pocetos y entradas permitidos serán únicamente los mencionados a esta sección.
- b. El término “entradas” se refiere a cualquier medio, estructura, o método que permita la entrada de escorrentías al sistema pluvial de tuberías soterradas.
- c. Si existe la necesidad de utilizar un tipo de poceto diferente, se hará una consulta a la Junta de Planificación donde se expondrán las razones, justificación y demostración de que el poceto propuesto cumple con todos los requerimientos hidráulicos y otras condiciones que establezca este reglamento.

- d. Los tipos de pocetos y entradas permitidos serán los siguientes.
 - Pocetos de rejillas.
 - Pocetos de entrada lateral por el encintado.
 - Pocetos combinados de rejilla con entrada lateral.
 - Entrada mediante tubos de ranura continua (Slotted drain inlet).
 - Pocetos de parrilla continua a lo ancho de la superficie de rodaje (cruza calle).
- e. Las Figura 4.4 muestran esquemáticos de los tipos de pocetos y entradas mencionados. La Figura 4.5 muestra secciones de pocetos de rejilla y pocetos combinados de rejilla con entrada lateral con sus dimensiones típicas.

4.6.3 Obstrucciones de Entrada a Pocetos

- a. Al colocar varios pocetos alineados y contiguos, el potencial de obstrucción disminuye según la relación presentada en el Apéndice 4.B [3].
- b. El ajuste presentado en el Apéndice 4.B se utiliza para calcular el valor de la longitud efectiva de los pocetos en las ecuaciones de diseño que se introducen en este capítulo.
- c. Estas medidas de diseño no reemplazan el mantenimiento y limpieza que se debe proveer para prevenir reducciones significativas en la capacidad de entrada del poceto.

4.6.4 Rejillas para los Pocetos

- a. Se requiere que las rejillas cumplan con las características de alguno de los tipos mostrados en la Figura 4.6 y la Figura 4.7. Las especificaciones son las siguientes:
 - 1. P-50: Rejilla con barras paralelas separadas 48 mm (1-7/8 pulg) centro a centro.
 - 2. P-50 x 100: Rejilla con barras separadas 48 mm (1-7/8 pulg) centro a centro y con barras laterales de 10 mm (3/8 pulg) de diámetro separadas 102 mm (4 pulg) de centro a centro.
 - 3. P-30: Rejilla con barras paralelas separadas 29 mm (1- 1/8 pulg) centro a centro.
- b. Estos tres tipos son los que tienen las mayores eficiencias a altas velocidades del flujo y altas pendientes, y funcionan con eficiencias similares a velocidades bajas. Su eficiencia y capacidad incrementan cuando aumentan las pendientes, siempre y cuando no ocurra salpicadura del agua [2].

4.6.5

Pocetos de Ranura Continua (Slotted Drain Inlet)

- a. Los pocetos de ranura continua se permiten para interceptar flujos provenientes de laderas antes de que ingresen a la carretera o de superficies pavimentadas donde se tiene flujo distribuido a lo largo de la superficie (flujo en capa), tales como estacionamientos o alrededor de edificios largos.
- b. No se colocarán en sitios donde haya susceptibilidad para altas concentraciones de sedimentos, o basuras, ni en zonas de empozamiento.
- c. El ancho mínimo de la entrada de estos pocetos será de 45 mm (1.75 pulg).
- d. El Apéndice 4.A presenta las ecuaciones que se usarán para el dimensionamiento de estos pocetos.

4.6.6

Pocetos de Parrilla Continua

- a. No será permitido el uso de pocetos de parrillas continuas en calles principales o avenidas. Su uso se limitará a puntos bajos en calles locales donde así lo requiera el diseño y donde no haya exceso de basuras que tapen su entrada.
- b. La capacidad hidráulica de diseño deberá cumplir con los requisitos de la Sección 4.5.
- c. Estas parrillas deben considerarse como orificios cuando la profundidad del agua sea igual o mayor de 120 mm (≈ 5 pulg).

SECCIÓN 4.7 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE LOS POCETOS

- a. El diseño y ubicación de estas estructuras debe hacerse siguiendo los criterios presentados en este reglamento.
- b. La capacidad de los pocetos determina la cantidad de escorrentía removida de las carreteras y calles y el dimensionamiento del sistema de alcantarillado pluvial soterrado.
- c. El Apéndice 4.A presenta los criterios de diseño y las ecuaciones que se usarán para el dimensionamiento de los pocetos siguiendo los criterios mencionados en la Sección 4.6.

SECCIÓN 4.8 PROCEDIMIENTO PARA DISEÑO DE POCETOS DE REJILLA Y POCETOS DE ENTRADA LATERAL USANDO HOJA DE CÁLCULO

- a. Para el diseño de pocetos de rejilla y con entrada lateral pueden utilizarse las tablas provistas en los Apéndices 4.C y 4.D. Se incluye además una descripción del cálculo de cada columna.

SECCIÓN 4.9 CUNETAS EN ZONAS RURALES

- a. En proyectos en zona rural donde se requiera la pavimentación de las calles se deberán construir cunetas de hormigón u otro material similar, en forma

trapezoidal, triangular o semicircular (media caña) con capacidad hidráulica para un caudal pico de diseño de 25 años de recurrencia y duración de lluvia igual a $0.133t_c$ (metodología del hidrograma unitario del NRCS [4]).

- b. El eje de dichas cunetas deberá estar localizado a una distancia mínima de 4.50 metros (14.76 pies) del eje de la vía.
- c. No se requerirá la construcción de dichas cunetas cuando la velocidad promedio del caudal pico de diseño no exceda 1 m/s (≈ 3 p/s) en terrenos arenosos y 1.5 m/s (≈ 5 p/s) en terrenos arcillosos. En estos casos se deberá proveer cubierta vegetal de yerba (tipo bermuda o similar).
- d. En este tipo de proyecto y alcanzado el máximo de la capacidad hidráulica de la cuneta, las aguas pluviales se deberán encauzar hacia depresiones o desagües naturales mediante tuberías o medias cañas revestidas con materiales no erosionables.

SECCIÓN 4.10 REFERENCIAS

- [1] Urban Drainage and Flood Control District, Urban Storm Drainage Criteria Manual: Volume 1 Management, Hydrology, and Hydraulics, Denver: Urban Drainage and Flood Control District, 2016.
- [2] Ayres Associates Inc, Urban Drainage Design Manual, HEC 22, 3rd Ed, Fort Collins, Colorado.: Federal Highway Administration, 2013.
- [3] J. Guo, «Decay Based Clogging Factor for Curb Inlet Design,» *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 132, n° 11, pp. 1237-1241, 2006.
- [4] NRCS, «Chapter 16 Hydrographs,» de *National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology*, United States Department of Agriculture, 2007, p. 50.
- [5] C. F. Izzard, «Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces,» de *Proc. Highway Research Board*, Washington DC, 1946.
- [6] L. Xioaming y G. C. Y. G. J. W. a. J. L. Xing F., «Evaluating Curb Inlet Efficiency for Urban Drainage and Road Bioretention Facilities,» *Water*, p. 18, 2019.
- [7] Haestad Methods and Durrans S.R., Stormwater Conveyance Modeling and Design 5th Ed., Exton, PA.: Haestad Press, 2007.

SECCIÓN 4.11 TABLAS

Tabla 4.1 Clasificación de carreteras y calle (Adaptado de Urban Drainage and Flood Control District [1]).

Clasificación	Función	Velocidad	Número de carriles
Local	Provee acceso a áreas residenciales, industriales y comerciales	Baja	2
Colectora	Conecta tráfico vehicular entre calles locales y vías arteriales	Baja a moderada	2 a 4
Arterial	Conecta tráfico vehicular entre centros urbanos y de carreteras colectoras con autopistas	Moderada a rápida	4 a 6
Autopista	Provee transporte rápido y eficiente sobre largas distancias	Alta	4 o más

Tabla 4.2 Coeficiente de obstrucción para la Ecuación 4.30.

Tipo de Poceto	C_0	e
Pocetos con rejillas	0.5	0.50
Pocetos con entrada lateral por el encintado	0.1	0.25

Tabla 4.3 Factor de obstrucción, C_c , para múltiples pocetos según Ecuación 4.30.

Tipo de Poceto	Número de pocetos contiguos, N							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Poceto de Rejilla	0.500	0.375	0.292	0.234	0.194	0.164	0.142	0.125
Poceto de entrada lateral	0.100	0.063	0.044	0.033	0.027	0.022	0.019	0.017

SECCIÓN 4.12 FIGURAS

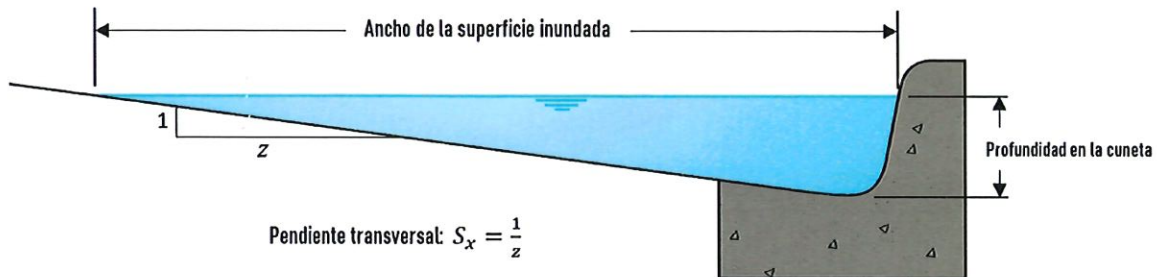


Figura 4.1 Esquemático de sección de carretera inundada.

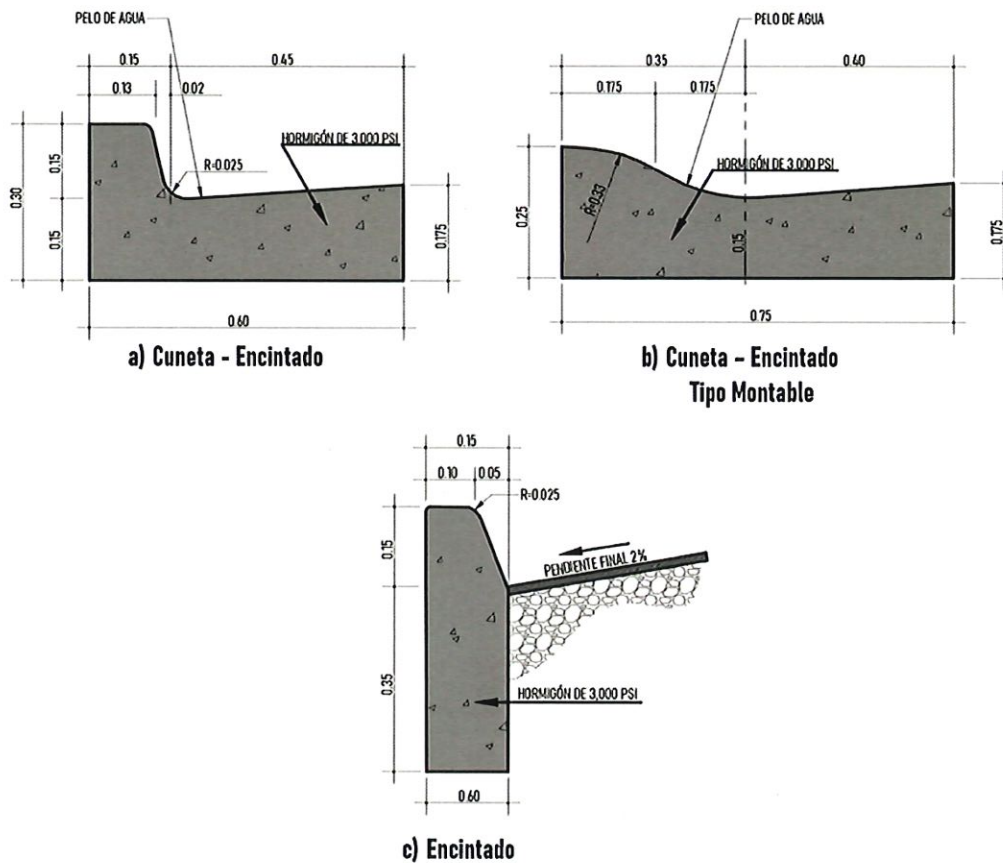


Figura 4.2 Diferentes tipos de encintados y cunetas.

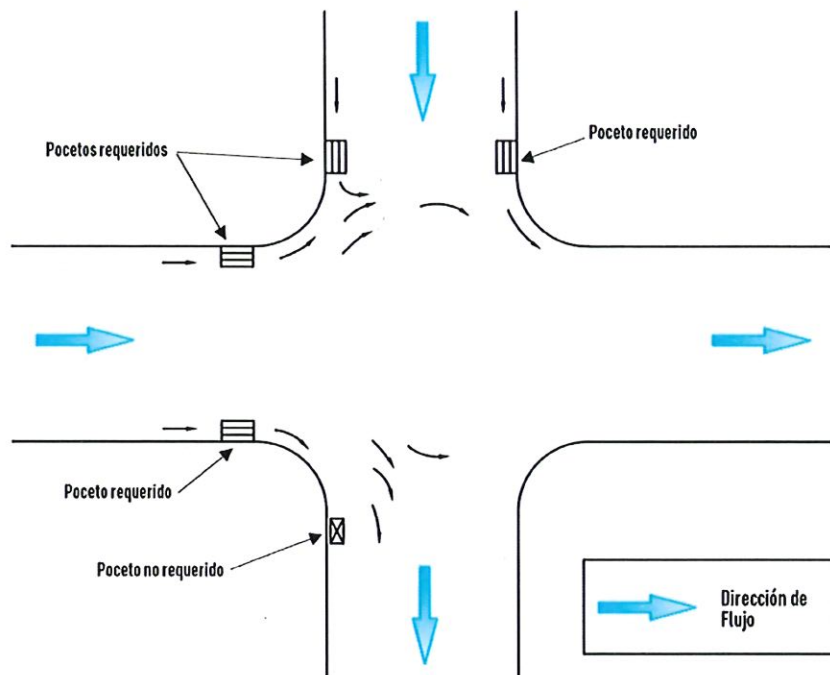


Figura 4.3 Ubicación de pocetos en intersecciones con pendientes continuas.

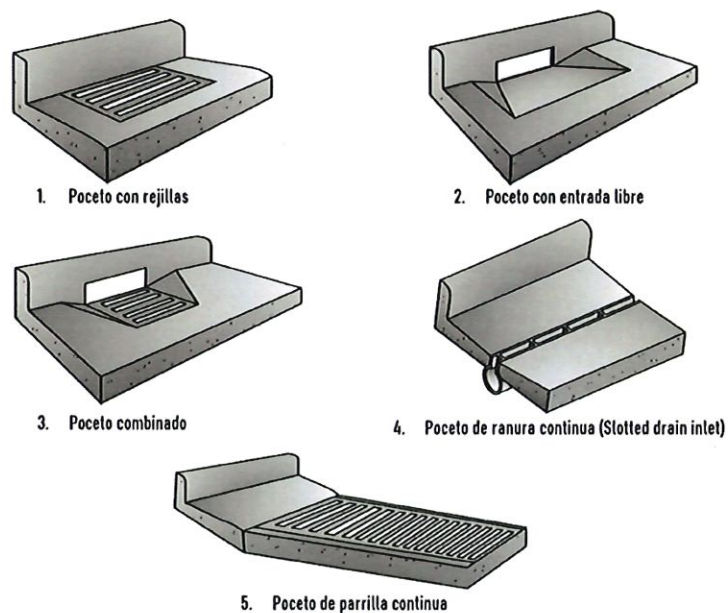


Figura 4.4 Tipos de Pocetos.

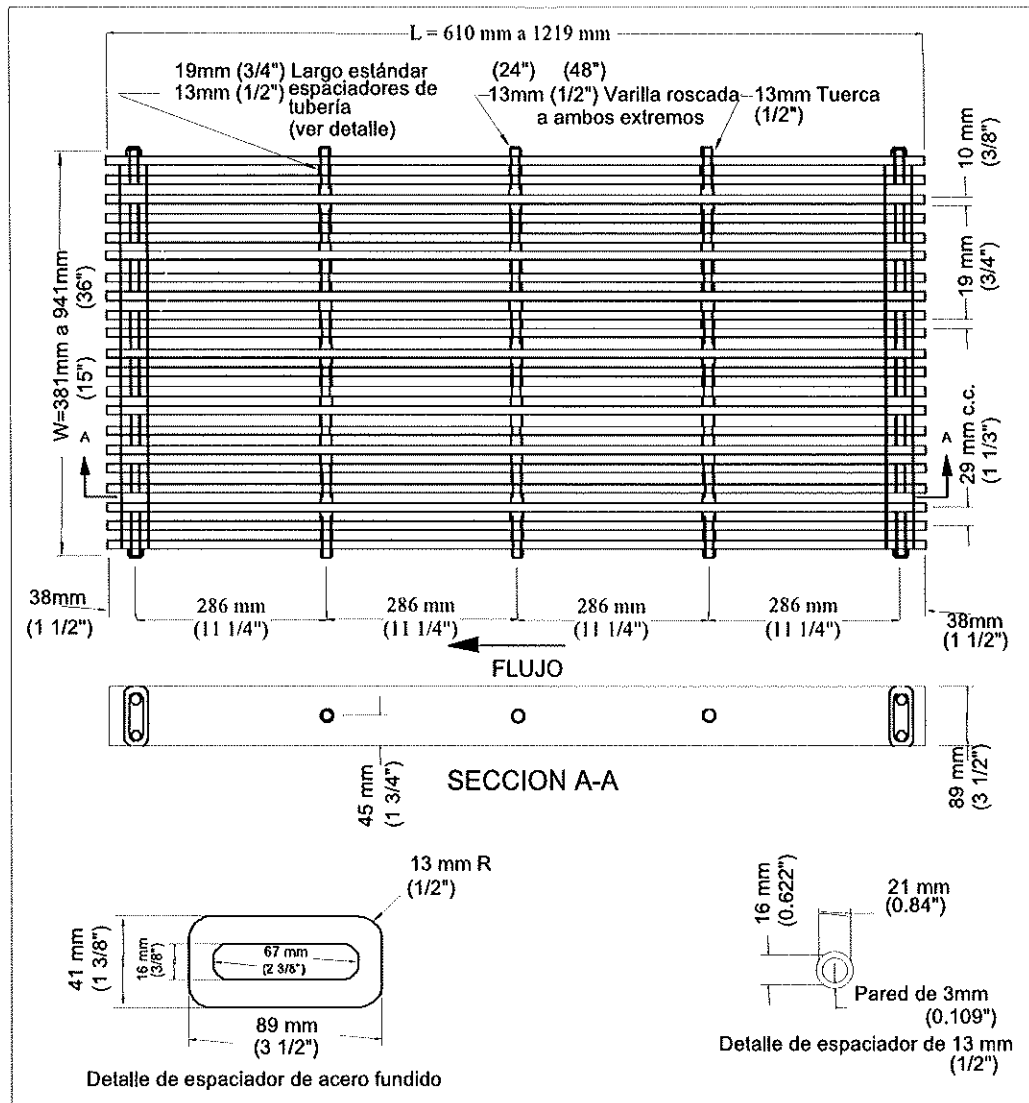


Figura 4.7 Parrilla P-30.

SECCIÓN 4.13 APÉNDICE 4.A - CÁLCULO DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DE CUNETAS Y POCETOS

- a. La Figura 4.8 muestra las cunetas triangulares de sección uniforme y compuesta, requeridas para el diseño con la nomenclatura que se utiliza en las ecuaciones que se presentan a continuación.

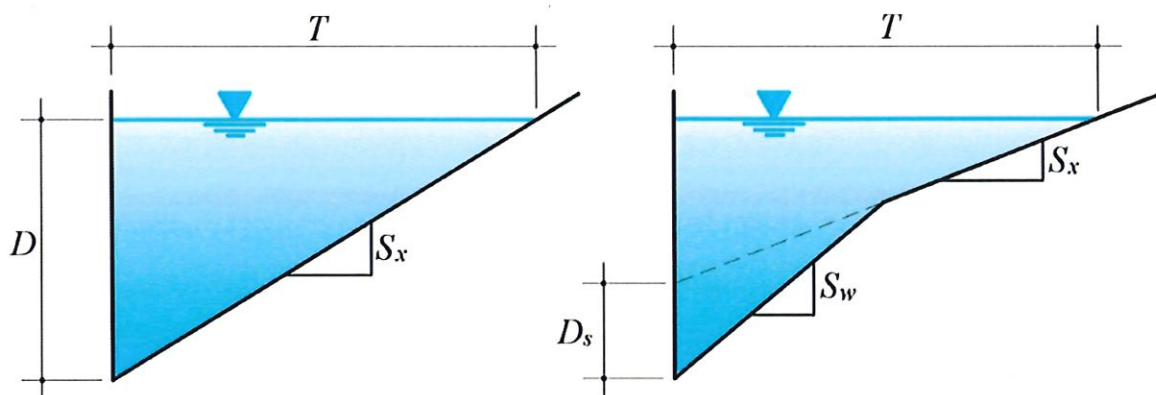


Figura 4.8 Secciones típicas de cunetas.

4.13.1

Cálculo del Caudal en Cuneta Triangular de Sección Uniforme

- a. El caudal en cunetas se calculará usando la ecuación de Manning para canales triangulares modificada por Izzard [5]:

$$Q_c = \frac{C_m S_x^{1.67} S_L^{0.5} T^{2.67}}{n} \quad (4.1)$$

donde Q_c es el caudal en la cuneta (mcs o pcs), n es el coeficiente de rugosidad de Manning, C_m es una constante para las unidades; 0.376 para SI o 0.560 para USC, T es el ancho de la superficie libre (metros o pies), S_x es la pendiente lateral de la rasante, y S_L es la pendiente longitudinal de la calle.

- b. La profundidad del agua dentro de la cuneta, D , se relaciona con el ancho de la superficie libre del agua de acuerdo con la relación $D = TS_x$.
- c. De la Ecuación 4.1 se calcula el ancho de la superficie libre del agua como

$$T = \left[\frac{n Q_c}{C_m S_x^{1.67} S_L^{0.5}} \right]^{0.375} \quad (4.2)$$

- d. La Tabla 4.4 presenta los valores del coeficiente de Manning que se usarán para cunetas y pavimentos.

Tabla 4.4 Coeficientes de Manning para diferentes superficies de pavimentos y cunetas [2]

Material de la superficie de cuneta/pavimento	Coeficiente de Manning (n)
<i>Hormigón acabado</i>	0.012
<i>Asfalto/Asfalto</i>	
Textura Lisa	0.013
Textura Rugosa	0.016
<i>Hormigón /Asfalto</i>	
Textura Lisa	0.013
Textura Rugosa	0.015
<i>Hormigón/Hormigón</i>	
Textura Lisa	0.014
Textura Rugosa	0.016

4.13.2

Cálculo del Caudal en Cuneta Triangular de Sección Compuesta

- El diseño de cunetas de sección compuesta debe considerar que el caudal puede discurrir en la zona cercana al encintado, donde la pendiente lateral es más empinada (S_w en la Figura 4.8) o, cubrir ambas zonas (cuneta y parte de la superficie de rodaje). En el caso de una cuneta triangular de sección uniforme, el valor de la profundidad D_s es cero y $S_w = S_x$.
- El caudal dentro del segmento de la zona con pendiente S_w se denota como Q_w y el ancho máximo de la superficie libre del agua en esta zona es w (Figura 4.9). Dentro de la zona con pendiente S_x , fuera de la cuneta, el caudal es Q_x . Por lo tanto, el caudal total es

$$Q_c = Q_w + Q_x \quad (4.3)$$

y el ancho total de la superficie libre del agua es T .

- Además, la profundidad del agua es $D = Y + D_s$ siendo $Y = T S_x$ según se muestra en la Figura 4.9.
- La relación entre ambas pendientes se expresa como $S_w = S_x + D_s/w$, donde D_s es la altura desde el fondo de la cuneta hasta el punto de intersección de la proyección de la pendiente lateral de la superficie de rodaje (S_x) y la pared del encintado (ver Figura 4.9).

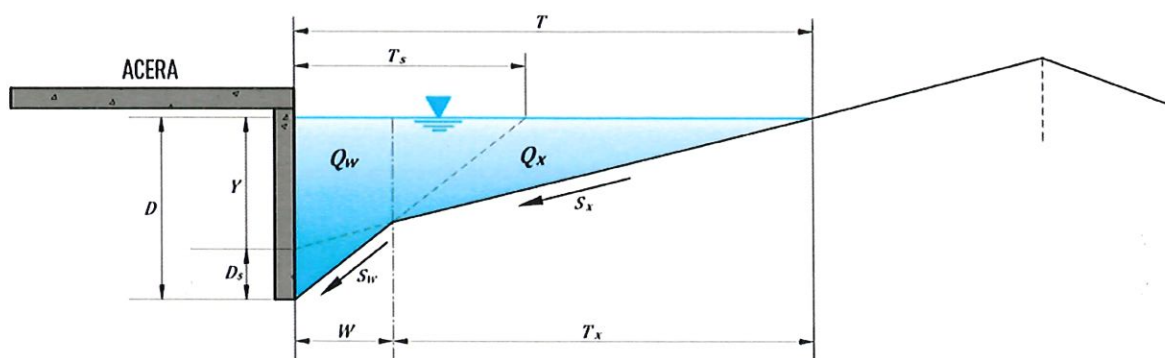


Figura 4.9 Detalle de sección de cuneta triangular compuesta.

- a. El caudal en el tramo de la carretera fuera de la sección de la cuneta se calcula con la Ecuación 4.4.

$$Q_x = \frac{C_m}{n} S_x^{1.67} T_x^{2.67} \sqrt{S_L} \quad (4.4)$$

- b. Usando la notación de la Figura 4.9, el caudal en la zona frente a la rejilla de la cuneta, Q_w , se calcula con la Ecuación 4.5.

$$Q_w = \frac{C_m}{n} S_w^{1.67} [T_s^{2.67} - (T_s - w)^{2.67}] \sqrt{S_L} \quad (4.5)$$

donde T_s se define en la Figura 4.9.

- c. El área seccional del flujo en la Figura 4.9 es

$$A = 0.5YT + 0.5wD_s \quad (4.6)$$

- d. La razón Q_w/Q_c está dada por la siguiente expresión [2]:

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q_c} = \left[1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\left(1 + \frac{\frac{S_w}{S_x}}{\frac{T}{w} - 1} \right)^{2.67} - 1} \right]^{-1} \quad (4.7)$$

donde E_0 es la eficiencia del poceto para atrapar el flujo frontal.

- e. El caudal total se obtiene como

$$Q_c = \frac{Q_w}{1 - \frac{1}{1 - E_0}} \quad (4.8)$$

4.13.3 Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Rejilla en Cunetas Triangulares de Sección Uniforme

- El caudal interceptado por un poceto de rejilla tiene dos componentes: la porción del flujo interceptado frontalmente y la porción interceptada lateralmente. El caudal interceptado será una porción o el total del caudal que llega al poceto.
- La eficiencia total del poceto, E_f , es la suma de la proporción del flujo interceptado frontalmente, $Q_{int-frontal}$, más la porción del flujo interceptado lateralmente, $Q_{int-lateral}$, dividido por el flujo total que llega al poceto, Q_c .

$$E_f = \frac{Q_{int-frontal} + Q_{int-lateral}}{Q_c} \quad (4.9)$$

- Para determinar el caudal interceptado frontalmente, se presume que el mismo es proporcional a la diferencia entre la velocidad promedio de la escorrentía que llega al poceto, V_p , y la velocidad del agua a la cual comienza el salpiqueo, V_0 . La velocidad promedio se calcula dividiendo el caudal entre el área de la sección transversal inundada dada por la Ecuación 4.6. Según esta presunción, la fracción del flujo interceptado frontalmente es

$$R_f = 1 - C_m(V_p - V_0) \text{ para } V_p \geq V_0, \text{ de lo contrario } R_f = 1 \quad (4.10)$$

El coeficiente de unidades, C_m , es 0.295 para SI y 0.09 para USC. La velocidad donde el flujo comienza a salpicar se obtuvo experimentalmente [2].

- La velocidad de salpiqueo depende del tipo de poceto y se calcula mediante la siguiente relación.

$$V_0 = \alpha + \beta L_e - \gamma L_e^2 + \varphi L_e^3 \quad (4.11)$$

Los coeficientes α , β , γ y φ en esta relación se presentan en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Coeficientes para estimar la velocidad de salpiqueo.

Tipo de Parrilla	α	β	γ	φ
P-50	2.22	4.03	0.65	0.06
P-30	1.76	3.12	0.45	0.03
P 50 x 100	0.74	2.44	0.27	0.02

- e. La ecuación para estimar la fracción del flujo interceptado lateralmente con respecto al flujo total se define como

$$R_s = \left(1 + \frac{C_m V_p^{1.8}}{S_x L_e^{2.3}} \right)^{-1} \quad (4.12)$$

Los valores del coeficiente de unidades son $C_m = 0.0828$ para SI y 0.15 para USC. La longitud L_e es la longitud corregida por el factor de obstrucción (ver Apéndice 4.B).

- f. La eficiencia del poceto es la suma del componente debido al flujo frontal más la debida al flujo lateral. Denotando

$$E_o = \frac{Q_{int-frontal}}{Q_c} \quad (4.13)$$

y combinando 4.10 y 4.12 se obtiene que

$$E_f = R_f E_o + R_s (1 - E_o) \quad (4.14)$$

- g. El caudal interceptado por el poceto es la porción del caudal de diseño dada por

$$Q_{int} = E_f Q_c \quad (4.15)$$

4.13.4 Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Rejilla en Cunetas Triangulares de Sección Compuesta

- En el caso de secciones compuestas, si el ancho de la rejilla del poceto es igual o mayor al ancho w de la sección con pendiente más empinada (ver Figura 4.9), no se requiere ningún ajuste.
- Si el ancho de la rejilla del poceto es menor que el ancho w , entonces se introduce un factor de corrección para la razón de flujo frontal E_o .
- El factor de corrección es la relación de las áreas entre el área de flujo para un ancho igual al ancho del poceto entre el área de la sección de pendiente pronunciada de ancho w . El ajuste está dado por

$$E'_o = E_o \left(\frac{A'_w}{A_w} \right) \quad (4.16)$$

donde A'_w es el área de flujo en un ancho igual al ancho de la rejilla y A_w es el área en el ancho de la depresión en la cuneta. E'_o se sustituye por E_o en la Ecuación 4.14 para obtener la eficiencia total del poceto para atrapar el caudal que le llega en una cuneta triangular de sección compuesta como sigue

$$E'_f = R_f E'_o + R_s (1 - E'_o) \quad (4.17)$$

- El flujo interceptado por el poceto es

$$Q_{int} = E_f' Q_c \quad (4.18)$$

4.13.5 Cálculo de la Capacidad de Pocetos de Entrada Lateral

- Para un uso eficiente de estos pocetos, la profundidad del agua para el flujo de diseño no debe exceder la altura de la apertura lateral del poceto.
- La altura de la apertura varía entre 10 y 15 cm (≈ 4 a 6 pulg).
- Por razones de seguridad la apertura no excederá 15 cm (≈ 6 pulg) de altura.
- Para interceptar todo del caudal en el pavimento, cuando la cuneta es de pendiente uniforme, sin considerar obstrucciones por escombros, la longitud requerida del poceto será determinada por la siguiente ecuación [6].

$$L_p = C_m Q_c^{0.372} S_L^{0.1} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.564} \quad (4.19)$$

donde L_p es la longitud requerida del poceto para interceptar el 100% del flujo en la cuneta, C_m es una constante de unidades igual a 0.387 para SI y 0.337 para USC, S_L es la pendiente longitudinal de la cuneta, y Q_c es el caudal en la cuneta.

- La eficiencia de este poceto disminuye con la longitud de la apertura. En este caso la eficiencia es

$$E_f = 1 - \left[1 - \left(L_e / L_p \right) \right]^{2.42} \quad (4.20)$$

donde L_e es la longitud del poceto considerando el efecto de obstrucción según la Ecuación 4.31.

- El caudal interceptado, considerando el efecto de obstrucciones en el poceto, es

$$Q_{int} = E_f Q_c \quad (4.21)$$

- Si el poceto de entrada lateral tiene depresión en el borde interno (ver Figura 4.10), se usa una pendiente equivalente, S_e , obtenida mediante la siguiente ecuación.

$$S_e = S_x + S_w E_w \quad (4.22)$$

donde E_w es la razón entre el flujo en la zona con la depresión y el caudal total en la cuneta y $S_w = D_s / w$. La pendiente S_e se sustituye por el de S_x en la ecuación para L_p (Ecuación 4.19). El valor de las constantes de unidades, C_m , es el mismo.

4.13.6

Cálculo de la Capacidad de Pocetos Combinados de Rejilla y Entrada Lateral

- Si la rejilla y la apertura lateral se ubican en el mismo sitio y son de igual longitud, el cálculo de la capacidad del poceto usa la capacidad de la rejilla solamente. La entrada lateral no se considera.
- Los pocetos con apertura lateral mayor a la longitud de la rejilla son efectivos para interceptar las basuras antes de que bloqueen la rejilla. A esta configuración se le llama “*entrada con barrido*”. Esta combinación es recomendable en zonas bajas donde se prevé empozamiento excesivo del agua [7].

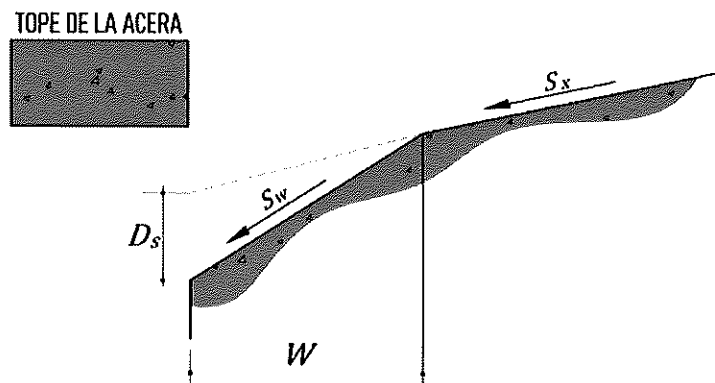


Figura 4.10 Sección de un poceto de entrada lateral con depresión frente a la apertura (ver Figura 4.4 (3) para una vista 3-D).

- Su capacidad es igual a la suma de la capacidad de la apertura lateral antes de la rejilla más la capacidad de la rejilla.
- En este caso, la capacidad de la rejilla para recoger el caudal frontal se reduce por el caudal interceptado por la apertura.
- El cálculo de estos pocetos en zona de empozamiento se describe en la Sección 4.13.8.

4.13.7

Pocetos de Parrilla Continua (en Todo el Ancho de Rodaje)

- Este tipo de poceto solo se permitirá en puntos bajos de calles locales. La descarga mayor de diseño será de 30 pcs.
- El diseño se realizará como el de un poceto de rejilla de un ancho igual a la longitud del poceto a lo largo de la calle.

- c. Se debe proveer un conducto con capacidad suficiente para transportar toda la escorrentía que entra a través de la rejilla. Aplica el mismo criterio de niveles máximos permitidos según presentado en la Sección 4.4.

4.13.8 Pocetos en Zonas de Empozamiento

- a. Las siguientes subsecciones establecen los criterios y observaciones que se tomarán en cuenta durante la ubicación y diseño de pocetos en áreas donde el agua se empoza.

4.13.8.1 Generalidades

- a. En zonas bajas, el flujo se acumula rápidamente y puede exceder la capacidad del sistema de drenaje causando inundaciones. En estas condiciones el volumen de agua y la extensión de la inundación son parámetros importantes para prevenir profundidades excesivas que afecten las propiedades adyacentes y pongan en peligro a los conductores y peatones.
- b. Si son vías importantes, se debe mantener al menos un carril para el paso de vehículos para atender emergencias.
- c. El ancho y la profundidad máxima de la zona inundada deberán cumplir con la Sección 4.4.
- d. En caso en que la capacidad de drenaje de diseño sea excedida, se proveerán medidas adicionales para reducir la acumulación y acelerar el desagüe de las escorrentías acumuladas en estas zonas, según establecido en la Sección 4.4.

4.13.8.2 Pocetos de Rejillas en Zonas de Empozamiento

- a. Los pocetos de rejilla en zonas bajas funcionan como vertedores cuando la profundidad del agua es baja y como orificios cuando la profundidad es mayor.
- b. Si el poceto funciona como un vertedor, la longitud del perímetro del poceto es importante. El caudal se obtiene de la siguiente ecuación.

$$Q_{vert} = C_w P_e d_o^{1.5} \quad (4.23)$$

donde Q_{vert} es el caudal entrando al poceto, C_w es el coeficiente de descarga para vertedor (se usa 1.66 para sistema SI y 3.0 para sistema USC), P_e es el perímetro efectivo del poceto (si el poceto tiene encintado, el largo paralelo al encintado no se toma en cuenta) y d_o es la profundidad promedio del agua sobre la rejilla del poceto (véase la Figura 4.12 para definición de d_o).

- c. El perímetro efectivo para el vertedor cuando el poceto tiene encintado es

$$P_e = 0.70[(1 - C_c)L + 2W] \quad (4.24)$$

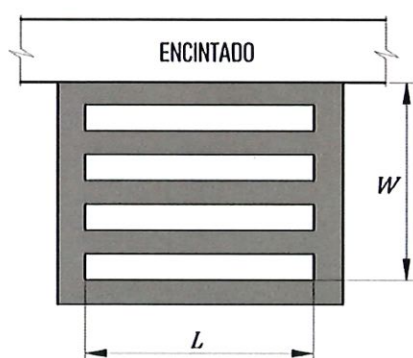
donde L y W son el largo y el ancho de la rejilla, respectivamente.

- d. Si el poceto funciona como orificio, la variable importante es el área de las aperturas del poceto. En este caso la ecuación para estimar el caudal es

$$Q_{ori} = C_o A_g \sqrt{2g d_o} \quad (4.25)$$

donde C_o es el coeficiente de descarga para orificio (se usa 0.67 en ambos sistemas de unidades), A_g es el área de aperturas para el paso del agua a través de la rejilla (Figura 4.11) y d_o es la profundidad promedio del agua a través del poceto (Figura 4.12).

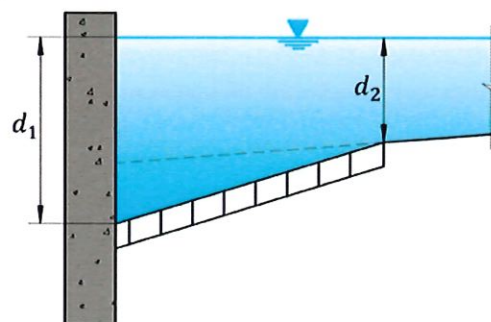
- e. Los pocetos en zonas bajas deben ser lo más eficiente posible en cuanto al área de las aperturas para el paso del agua.
- f. Los pocetos de rejillas requeridos en estas guías deben cumplir con la razón de área abierta a área total del poceto presentada en la Tabla 4.6.
- g. El diseño de pocetos en puntos bajos no está limitado a los pocetos estándar presentados en la Tabla 4.6.
- h. Las ecuaciones de vertedor y de orificio son válidas para otros tipos de pocetos, siempre y cuando se apliquen según presentado en esta subsección.



$$P = 2W + L \quad (\text{Con encintado})$$

$$P = 2(W + L) \quad (\text{Sin encintado})$$

Figura 4.11 Perímetro en la ecuación de orificio.



$$d_o = (d_1 + d_2)/2$$

Figura 4.12 Definición de la profundidad “ d_o ” utilizada en las ecuaciones de vertedor y orificio.

Tabla 4.6 Razón de área de apertura al área total superficial de pocetos [2].

Tipo de Poceto	Clasificación del Poceto	Razón de Áreas
P-50 x 100	P-1-7/8-4	0.8
P-50	P-1-7/8	0.9
P-30	P-1-1/8	0.6

- i. La práctica en el análisis de pocetos de rejilla en zonas bajas debe ser la más conservadora. Esta consiste en estimar la capacidad con ambas ecuaciones (Ecuaciones 4.23 y 4.25) y escoger la que produce el caudal menor.
- j. Para diseño se seleccionará las dimensiones mayores obtenidas mediante ambas ecuaciones.
- k. Los pocetos de rejillas son susceptibles a taparse parcial o totalmente, por lo que se considerará el efecto de obstrucción según se definido en la Sección 4.14.

4.13.8.3

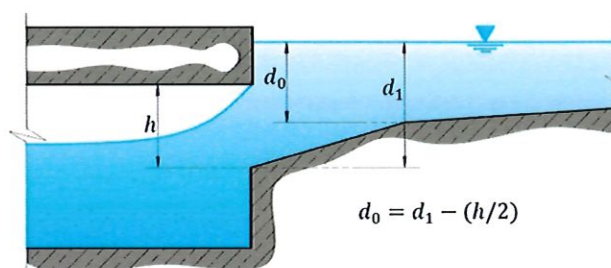
Pocetos de Entrada Lateral en Zonas de Empozamiento

- a. La capacidad de estos pocetos depende de la profundidad que alcance el agua, d_0 , la longitud de la apertura, L , y la altura de la apertura, h , según se definen en la Figura 4.13 para tres tipos de entrada diferentes. Estas se diferencian por la forma de la garganta por donde entra el agua, la cual puede ser horizontal, inclinada o vertical.
- b. Los pocetos de entrada lateral se comportan como vertedores cuando la profundidad del agua es menor que la altura de la apertura, h . Sin embargo, para profundidades mayores de $1.4h$ se comportan como orificios.
- c. Entre $1.0h$ y $1.4h$ ocurre una transición entre ambos comportamientos. En estos casos, la capacidad se calcula usando ambos comportamientos y se selecciona aquel que de la menor capacidad. Para diseñar el tamaño del poceto se utilizará el que resulte en la mayor dimensión.
- d. Los pocetos de entrada lateral pueden ser con entrada sin depresión o con depresión en el borde interior. La Figura 4.14 muestra ambos diseños.
- e. Si no hay depresión a la entrada (Figura 4.14 (a)), el vertedor tendrá su control hidráulico en el filo de la entrada a la garganta y la longitud del vertedor es la longitud de la apertura, L .
- f. Cuando el poceto tiene la depresión en la entrada, el control está cerca del borde de la cuneta y la longitud efectiva del vertedor depende del ancho de la depresión, W , que tenga la cuneta y de la longitud de la apertura, L .

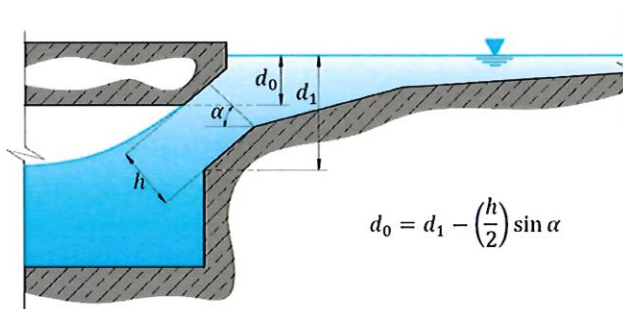
- g. La capacidad de este poceto, cuando trabajan como vertedores y no tiene depresión en la cuneta, se obtiene con la siguiente ecuación.

$$Q_{vert} = C_w(1 - C_c)L d^{3/2} \quad (4.26)$$

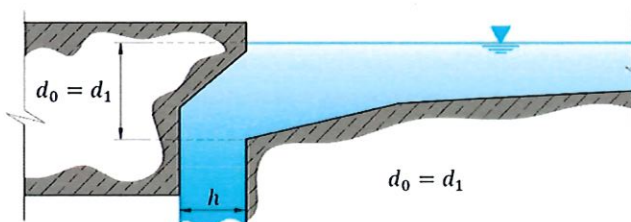
donde Q_{vert} es el caudal entrando por el poceto, L es la longitud de la entrada lateral del poceto (apertura), d es la profundidad del agua en el borde del encintado (véase la Figura 4.14 (a)), C_w es el coeficiente del vertedor igual a 1.66 para SI o 3.0 para USC y C_c es el factor por obstrucción (Ecuación 4.30).



a. Garganta Horizontal



b. Garganta Inclinada



c. Garganta Vertical

Figura 4.13 Diferentes geometrías de entradas para pocetos de entrada lateral (la figura muestra flujo de orificio).

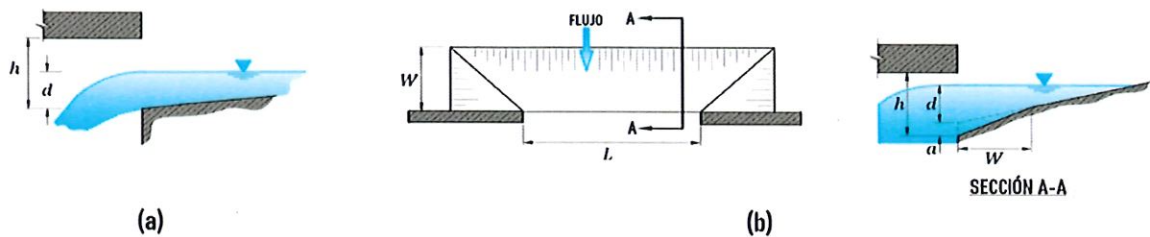


Figura 4.14 Poceto con entrada lateral: (a) sin depresión y (b) con depresión (la figura muestra flujo de vertedor).

- h. Si el poceto tiene depresión en la cuneta, la ecuación se modifica para considerar el ancho del área con depresión como se muestra a continuación.

$$Q_{vert} = C_w((1 - C_c)L + 1.8W)d^{3/2} \quad (4.27)$$

donde d es la profundidad del agua en el borde del encintado sobre la proyección horizontal de la pendiente transversal de la cuneta y W es el ancho de la cuneta (véase la Figura 4.14 (b)).

- i. Si se conocen el ancho de la superficie libre del agua, T , y la pendiente transversal de la carretera, S_x , como parámetros de diseño, entonces $d = T S_x$.
- j. La Ecuación 4.26 (vertedor sin depresión) produce caudales mayores que la Ecuación 4.27 (vertedor con depresión) cuando la longitud de la entrada lateral del poceto es más de 3.6 m (12 pies). Sin embargo, la eficiencia de un poceto con depresión en la cuneta debe ser al menos igual que la de un poceto sin la depresión, por lo tanto, para longitudes mayores de 3.6 m (12 pies) se utilizará la Ecuación 4.27 para pocetos con y sin depresión en la cuneta. En estos casos, la profundidad de agua que se usa es la que se tiene en la cara del encintado, incluyendo la depresión, o sea, $d + a$, en la Figura 4.14 (b).
- k. Cuando el poceto trabaja como un orificio, su capacidad depende de la geometría de la garganta. Para esto se define una profundidad efectiva, d_0 , la cual se muestra en la Figura 4.13. En esta figura, d_0 es la profundidad en el borde de la entrada al poceto. Entonces, la capacidad del poceto está dada por la siguiente ecuación.

$$Q_{ori} = C_o A_o \sqrt{2gd_0} = C_o h L_e \sqrt{2gd_0} \quad (4.28)$$

donde C_o es el coeficiente del orificio igual a 0.67, h es la altura de la entrada (o la dimensión menor de la apertura) al poceto, d_0 es la profundidad efectiva del flujo en la entrada del poceto según la Figura 4.13, L_e es la longitud efectiva de la entrada lateral del poceto y A es el área libre para el paso del agua a través

de la apertura. El área del orificio es $A_o = hL_e$, usando h según sea el caso de la Figura 4.14. El coeficiente del orificio permanece igual en todos los casos.

4.13.8.4 Pocetos Combinados en Zonas de Empozamiento

- a. Los pocetos combinados son requeridos para zonas bajas ya que, en caso de que las rejillas se tapen, la entrada lateral puede seguir funcionando.
- b. Para zonas bajas, la capacidad de estos pocetos depende de la profundidad de agua empozada, la pendiente longitudinal de la calle en el poceto y la longitud de la apertura relativa a la longitud de la rejilla. Por esta razón, es importante identificar si el poceto está en un tramo con pendiente o si está en un sitio de empozamiento antes de dimensionarlo.
- c. Cuando el poceto funciona como vertedor, su capacidad es similar a la de un poceto de rejilla. Sin embargo, si el poceto es con barrido, entonces su capacidad como vertedor debe ser igual a la suma del caudal producido como vertedor por la rejilla más la porción producida por la entrada lateral que se extiende antes de la rejilla [7, 2].
- d. La capacidad en este caso se estima usando la ecuación del vertedor con una longitud extendida para considerar la zona de la entrada lateral.
- e. La longitud propuesta se determinará con la siguiente ecuación.

$$P = L + W \quad (4.29)$$

donde P es la longitud del vertedor, L es la longitud de la rejilla y W es el ancho de la rejilla.

- f. Esta fórmula no toma en cuenta la longitud de la entrada lateral antes de la rejilla y la longitud de la rejilla adyacente a la cara del encintado.
- g. Cuando opera como orificio, la capacidad total es la suma de la capacidad de la rejilla más la de la entrada lateral. En este caso, se suman los caudales dados por la Ecuación 4.25 y uno de los obtenido por las Ecuaciones 4.26 o 4.27.
- h. El cálculo de la profundidad de agua para un caudal dado requiere una solución iterativa para resolver los casos de pocetos combinados en zonas bajas para la condición de flujo de orificio.

4.13.8.5 Entrada de Ranura Continua en Zonas de Empozamiento

- a. La longitud de diseño requerida para las entradas de ranura continua se estima usando la Ecuación 4.19 para un 100% de intercepción y la Ecuación 4.20 para determinar la eficiencia de longitudes menores.

4.13.8.6 Pocetos de Parrilla Continua en Zonas de Empozamiento

- a. La capacidad de los pocetos de parrilla continua en zonas de empozamiento se estima usando las ecuaciones para pocetos de rejillas y estos funcionan como

orificio cuando las profundidades sean mayores de 12 cm (4.7 pulg) y como vertedor para profundidades menores.

SECCIÓN 4.14 APÉNDICE 4.B – FACTOR PARA OBSTRUCCIÓN DE ENTRADA A POCETOS

- a. Las obstrucciones reducen la longitud efectiva del poceto para atrapar la escorrentía. Al aumentar el número de rejillas en serie, el factor de obstrucción combinado, C_c , disminuye según la siguiente relación [3].

$$C_c = \frac{1}{N} (C_0 + eC_0 + e^2C_0 + e^3C_0 + \dots + e^{N-1}C_0) = \frac{C_0}{N} \sum_{i=1}^N e^{i-1} \quad (4.30)$$

donde N es el número de rejillas en serie.

- b. El factor de obstrucción para un poceto, C_0 , y el factor e se determinan de la Tabla 4.2. La Tabla 4.3 presenta los valores del coeficiente C_c para diferente número de pocetos en serie, obtenidos de la Ecuación 4.30.
- c. La longitud efectiva del poceto se calcula con la siguiente relación.

$$L_e = (1 - C_c)NL_i \quad (4.31)$$

donde L_i es la longitud individual de cada rejilla.

- d. La Ecuación 4.31 se utiliza para calcular el valor de la longitud efectiva de los pocetos en las ecuaciones de diseño que se introducen en este capítulo.

SECCIÓN 4.15 APÉNDICE 4.C - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA POCETOS DE REJILLA

- a. Descripción de las columnas en la Tabla 4.7.

Columna 1: Identificación numérica del poceto.

Columna 2: Caudal de diseño proveniente del área de drenaje del poceto.

Columna 3: Caudal previo: Caudales que provienen de pocetos aguas arriba y que no fueron capturados por estos o provenientes de otras fuentes.

Columna 4: Caudal total que llega al poceto (Columna 2 + Columna 3).

Columna 5: Caudal Lateral Ajustado por caudal previo llegando al poceto.

Columna 6: Caudal de la Cuneta Ajustado por caudal previo llegando al poceto.

Columna 7: Caudal total ajustado (Col. 5 + Col. 6).

Columna 8: Ancho ajustado de la superficie libre de la inundación (T_{aj}).

Columna 9: Área de flujo ajustada (A_0).

Columna 10: Razón de ancho del poceto al ancho de superficie inundada (W/T_{aj}).

Columna 11: Profundidad ajustada de la escorrentía en la pared del encintado.

Columna 12: Tipo de rejilla (Figura 4.4).

Columna 13: Longitud total de cada rejilla.

Columna 14: Número de rejillas en serie.

Columna 15: Factor de obstrucción (Tabla 4.2 y Tabla 4.3).

Columna 16: Longitud efectiva del poceto. Considera obstrucciones (Ecuación 4.31).

Columna 17: Velocidad promedio sobre el pavimento (Col. 7 ÷ Col. 9).

Columna 18: Velocidad de Salpiqueo (Ecuación 4.11 y Tabla 4.5).

Columna 19: Fracción de caudal interceptado de frente a la rejilla (Ecuación 4.10).

Columna 20: Fracción de caudal lateral interceptado (Ecuación 4.12).

Columna 21: Razón E_o (Ecuación 4.13) (Col. 6 ÷ Col. 4).

Columna 22: Caudal interceptado por el poceto (Ecuación 4.15).

Columna 23: Caudal excedente no interceptado por el poceto. (Col.7 – Col. 22)

Columna 24: Porcentaje del caudal excedente. (Col. 23 ÷ Col. 7)

SECCIÓN 4.16 APÉNDICE 4.D - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO PARA POCETOS DE CON ENTRADA LATERAL

- a. Para el diseño de pocetos con entrada lateral se siguen los mismos pasos que para el poceto de rejilla hasta la Columna 17 de la Tabla 4.6.
- b. A partir de la columna 18 los cálculos se realizan según la Tabla 4.7.
- c. Descripción de las columnas en la Tabla 4.8.

Columna 1: Identificación numérica del poceto.

Columna 2: Caudal de diseño proveniente del área de drenaje del poceto.

Columna 3: Caudal previo: Caudales que provienen de pocetos aguas arriba y que no fueron capturados por estos o provenientes de otras fuentes.

Columna 4: Caudal total que llega al poceto (Columna 2 + Columna 3).

Columna 5: Caudal Lateral Ajustado por caudal previo llegando al poceto.

Columna 6: Caudal de la Cuneta Ajustado por caudal previo llegando al poceto.

Columna 7: Caudal total ajustado (Col. 5 + Col. 6).

Columna 8: Ancho ajustado de la superficie libre de la inundación (T_{aj}).

Columna 9: Área de flujo ajustada (A_0).

- Columna 10: Razón de ancho del poceto al ancho de superficie inundada (W/T_{aj}).
- Columna 11: Profundidad ajustada de la escorrentía en la pared del encintado.
- Columna 12: Tipo de rejilla (Figura 4.4).
- Columna 13: Longitud total de cada rejilla.
- Columna 14: Número de rejillas en serie.
- Columna 15: Factor de obstrucción (Tabla 4.2 y Tabla 4.3).
- Columna 16: Longitud efectiva del poceto. Considera obstrucciones (Ecuación 4.31).
- Columna 17: Velocidad promedio sobre el pavimento (Col. 7 ÷ Col. 9).
- Columna 18: Razón E_o (Ecuación 4.13) (Col. 6 ÷ Col. 4).
- Columna 19: Pendiente equivalente (Ecuación 4.22).
- Columna 20: Longitud requerida para interceptar 100% de la escorrentía (Ecuación 4.19).
- Columna 21: Caudal interceptado por el poceto (Ecuación 4.15).
- Columna 23: Caudal excedente que no es capturado por el poceto. (Col. 7 – Col. 22).
- Columna 24: Porcentaje del caudal excedido Col. 23 ÷ Col. 7).

Tabla 4.7 Modelo de tabla para el dimensionamiento de pocetos de rejillas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ID del Poceto	Caudal de Diseño	Caudal previo	Q_{total}	$Q_{lateral}$ Ajustado	Q_{cuneta} Ajustado	Caudal Total Ajustado Q_{ta}	Ancho de superficie libre ajustado, T_{aj}	Área de Flujo Ajustado	W/T_{aj} (ajustado)	Profundidad máxima (D) (Ajustado)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Tipo de Rejilla	Longitud Total	Número de pocetos	Factor de Obstrucción	Longitud Efectiva	Velocidad Promedio	Velocidad de Salpiqueo	Porción de Intercep. Frontal (R_f)	Porción de Intercep. Lateral (R_s)	Razón E_0	Q_{int}	Q_{exce}	% de Q pasando

Tabla 4.8 Modelo de tabla para el dimensionamiento de pocetos de entrada lateral.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ID del Poceto	Caudal de Diseño	Caudal previo	Q_{total}	$Q_{lateral}$ Ajustado	Q_{cuneta} Ajustado	Caudal Total Ajustado Q_{ta}	Ancho de superficie libre ajustado, T_{aj}	Área de Flujo Ajustado	W/T_{aj} (ajustado)	Profundidad máxima (D) (Ajustado)

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Tipo de Rejilla	Longitud Total	Número de pocetos	Factor de Obstrucción	Longitud Efectiva	Velocidad Promedio	Velocidad de Salpiqueo	S_e	L_p	Q_{int}	Q_{exce}	% de Q pasando

CAPÍTULO 5 DISEÑO HIDRÁULICO DEL SISTEMA SOTERRADO

SECCIÓN 5.1 INTRODUCCIÓN

- a. Este capítulo presenta técnicas y criterios de diseño para el sistema soterrado. Además, el capítulo presenta los conceptos de alineamiento horizontal y vertical, gradiente hidráulico y de energía, pérdidas de energía en conductos, técnicas para determinar la disipación de energía en registros y en los tubos y sistemas de bombeo.

SECCIÓN 5.2 MATERIALES DE LAS TUBERÍAS

5.2.1 Materiales Disponibles

- a. Se usarán tubos de hormigón, hierro dúctil, acero galvanizado, policloruro de vinilo (PVC, por sus siglas en inglés) y polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE, por sus siglas en inglés). También se usarán tubos de acero corrugado para cruces de agua en taludes y quebradas pequeñas. Cada material de estos tubos tiene sus propias especificaciones.

5.2.2 Asociaciones para Búsqueda de Información

- a. Las siguientes asociaciones ofrecen información actualizada sobre diferentes tubos.
 - Tubería de Hormigón: American Concrete Pipe Association (ACPA).
 - Tubería de Hierro Dúctil: Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA).
 - Tubería de Policloruro de Vinilo (PVC): PVC Pipe Association.
 - Tubería de Polietileno de Alta Densidad (HDPE) y Polipropileno (PP): Plastics Pipe Institute.
 - Tubería de acero corrugado: American Iron and Steel Institute (AISI).

5.2.3 Selección del Material

- a. El diseñador escogerá el material de los tubos de acuerdo con las necesidades hidráulicas del diseño y las condiciones de carga a las cuales la tubería estará expuesta. Los tubos de PVC, HDPE y PP deben ser seleccionados para mantener deflexión, flexión y pandeo dentro de los límites permitidos bajo cargas estructurales y cargas vivas.

SECCIÓN 5.3 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS TUBOS

- a. Este capítulo se refiere a tuberías de sección transversal circular.
- b. Tuberías de secciones elípticas y rectangulares son permitidas si responden a circunstancias específicas de campo.

- c. Será responsabilidad del diseñador asegurar que las técnicas de diseño usadas con otras geometrías sean cónsonas con este reglamento y que los criterios de diseño sean equivalentes a los presentados para tubería circular.
- d. El diseñador consultará con la Junta de Planificación y presentará cualquier técnica de diseño a utilizar que sea sustancialmente diferente a lo presentado en este capítulo.

SECCIÓN 5.4 ESTRUCTURAS DE ENTRADA AL SISTEMA SOTERRADO DE TUBERÍAS

5.4.1 Pocetos

- a. La Figura 5.1 muestra configuraciones típicas de las cajas de acceso (pocetos) al sistema soterrado de tuberías. La Figura 5.1.a presenta una elevación de la configuración típica para un poceto con rejilla y la Figura 5.1.b muestra el caso donde se incluye una trampa para atrapar basuras y sedimentos. Las Figuras 5.1.c y 5.1.d muestran los casos de pocetos con entrada lateral solamente y combinado con la rejilla, respectivamente. Los pocetos de tipo cruza-calle con rejilla continua pueden usar la configuración a, b o d.
- b. Estas estructuras se usan para permitir la entrada de la escorrentía al sistema de drenaje soterrado. Otra función es permitir la limpieza e inspección de los puntos de acceso. Normalmente estas estructuras se componen de hormigón prefabricado o pueden ser construido “in-situ”. El diseñador escogerá el tipo de poceto a ser utilizado de entre los mostrados en la Figura 5.1 dependiendo de las circunstancias específicas del diseño y condiciones de campo y operación.
- c. Otros tipos de pocetos, no incluidos en la Figura 5.1, podrán ser utilizados siempre y cuando se presenten sus características hidráulicas y cómo estas afectan el diseño del resto del sistema.
- d. El tipo de rejillas de los pocetos serán según se presenta en la Sección 4.6.4 de este documento.

5.4.2 Muros de Cabecera

- a. Cuando se recojan las escorrentías pluviales directamente de áreas verdes y otros lugares que no representen obstáculos o peligro para el tránsito vehicular y peatonal, se utilizará un muro de cabecera con alas y plataforma de concreto para dirigir el caudal hacia el tubo y evitar la erosión de los taludes y fondo del canal en la entrada (ver Figura 5.2).
- b. Se instalará una rejilla en la entrada del tubo para evitar la entrada de basura y personas no autorizadas. La rejilla debe ser inclinada del tipo de autolimpieza.
- c. Esta estructura puede ser prefabricada o construida “in-situ”.

- d. Se permitirán otros tipos de muro cuando se demuestre que ofrecen el mismo tipo de protección descrito en la Sección 5.4.2.a.

SECCIÓN 5.5 POZOS DE REGISTRO (MANHOLES)

- a. Los pozos de registro son cámaras de acceso de personal y equipo al sistema de alcantarillado usadas para la inspección y el mantenimiento del sistema soterrado. Estas estructuras se instalarán en lugares donde ocurren cambios en la dirección de los tubos, cambios de pendiente, unión de dos o más tuberías, cambios en el diámetro, material del tubo y en casos de tramos rectos donde el diseño lo requiera.
- b. Los pozos de registro, o cámaras de acceso, pueden ser de Polietileno de Alta Densidad (HDPE, por sus siglas en inglés), de hormigón prefabricado o construido “in-situ” [1] [2].
- c. La Tabla 5.1 presenta la separación máxima permitida entre pozos de registro según el diámetro de los tubos. El diámetro mínimo de la sección de acceso al pozo será de 1.22 metros (48 pulg).

SECCIÓN 5.6 ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO

- a. El alineamiento del alcantarillado pluvial en una zona urbana debe realizarse considerando que probablemente haya otra infraestructura enterrada en la misma servidumbre. Se debe evitar conflicto con alcantarillado sanitario, líneas de agua potable, cables de electricidad, tuberías de gas y otros tipos de infraestructura. Para esto es necesario incluir en los planos de construcción la ubicación de esta infraestructura y otras utilidades.
- b. No se permitirá el cruce de contacto entre tuberías de agua potable o sanitaria con los tubos, registros, o pocetos pluviales.
- c. La separación horizontal y vertical entre el sistema pluvial y las de alcantarillado sanitario, tuberías de agua potable y otros tipos de infraestructura será de acuerdo con lo establecido en los reglamentos y normas vigentes que apliquen a cada caso en particular.

SECCIÓN 5.7 ALINEAMIENTO HORIZONTAL

- a. El alineamiento horizontal será en línea recta entre pozos de registro, cámaras de acceso, pocetos y otras estructuras. Esto puede llevar a la colocación de registros a distancias cortas, particularmente en curvas de radio pequeño.
- b. No se permiten curvas en tuberías pluvial para evitar problemas de mantenimiento que produce este tipo de alineación.
- c. Si se dispone del espacio suficiente, la servidumbre pluvial se colocará fuera de la superficie de rodaje o pavimento.

SECCIÓN 5.8 ALINEAMIENTO VERTICAL

- a. El alineamiento vertical debe mantener una profundidad suficiente para evitar el colapso de la tubería por las cargas a las cuales estará sujeta.
- b. Cada tipo de tubo tiene sus particularidades para estimar la profundidad mínima para resistir cargas sin colapsar. Para esto, se consultarán las referencias técnicas de los fabricantes, asociaciones e institutos mencionados en la Sección 5.2.2.
- c. La separación vertical mínima entre las tuberías de alcantarillado pluvial y cualquier otra tubería, base del pavimento y otra infraestructura que pase sobre la misma alineación será de 0.30 m (1 p) para permitir asentamientos diferenciales y la disipación de cargas de un tubo sobre el otro [3].
- d. Se debe verificar la resistencia estructural de toda la tubería para cargas de tierra y cargas vivas.
- e. El alineamiento vertical debe considerar posibles desviaciones por dificultades de construcción ocasionadas por niveles freáticos altos que puedan provocar levantamiento por fuerza boyante o subsuelo de rocas a poca profundidad.
- f. En el caso de un cruce con tuberías sanitarias, la tubería pluvial pasará sobre la tubería sanitaria guardando la distancia vertical mínima mencionada en la Sección 5.8.c.
- g. Las elevaciones de la invertida de los tubos, cuando llegan varios tubos de entrada a un pozo de registro, o poceto, son variables. La alternativa más común en estos casos es que la elevación de la invertida del tubo de salida sea igual a la invertida del tubo de entrada más profundo. De esta forma se minimiza la pérdida de energía en el pozo de registro y la profundidad de excavación.
- h. En terrenos planos, o con pendientes adversas, pueden ser necesarios cambios en los niveles de invertida. El diseñador podrá utilizar otros criterios al determinar las elevaciones de las invertidas y así cumplir con los requisitos de pendiente mínima. Se considerará cada caso por separado.

SECCIÓN 5.9 PENDIENTES Y VELOCIDADES

- a. Las pendientes de los tubos se mantendrán dentro de un intervalo de valores de tal manera que produzcan velocidades entre las mínimas y máximas permitidas. La velocidad mínima corresponde a aquella que permite la autolimpieza del conducto y evita la deposición de partículas.
- b. El valor establecido para la velocidad mínima del flujo cuando el tubo funciona completamente lleno (flujo lleno) será 0.61 m/s (2 p/s) [2].
- c. Para verificar estos criterios se utilizará la ecuación de Manning sustituyendo la velocidad para flujo lleno y se verificará que las pendientes usadas sean

mayores o iguales a la que se obtiene con la Ecuación 5.1 de la Sección 5.21 (Apéndice 5.A).

- d. La velocidad máxima del flujo cuando el tubo funciona completamente lleno (flujo lleno) será 4.5 m/s (15 p/s) [4] [5].

SECCIÓN 5.10 DISEÑO DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

- a. El procedimiento de diseño del sistema de alcantarillado pluvial consiste en dos etapas.
- b. La primera etapa consiste en hacer una selección del tamaño de los tubos (diámetro) necesario para transportar el caudal de diseño. Este análisis presume que el flujo en cada tubo es permanente y uniforme en la mayoría de los casos. En algunos tramos será necesario obtener el perfil de la superficie del agua usando flujo gradualmente variado.
- c. La segunda etapa del diseño es la verificación de la operación del sistema para los eventos de diseño mediante el uso de simuladores de computadora. En esta etapa se usan los hidrogramas de entrada obtenidos en los cálculos hidrológicos y considerando el rastreo o enrutamiento de estos a través del sistema.
- d. Los modelos de computadora que se utilicen deben satisfacer los requisitos de la metodología descrita en este reglamento.
- e. El Apéndice 5.B (Sección 5.22) presenta las ecuaciones requeridas por este reglamento para el dimensionamiento de las tuberías.

SECCIÓN 5.11 PROFUNDIDAD DEL AGUA PARA EL CAUDAL DE DISEÑO

- a. La profundidad del agua máxima para el caudal de diseño será la correspondiente a una razón de profundidad/diámetro y/D máxima de 0.7, donde y es la profundidad normal y D es el diámetro del tubo.
- b. En la validación del diseño con los simuladores computadorizados podría resultar que algunos de los conductos estén fluyendo a presión (completamente llenos). En estos casos se harán los ajustes en el diseño para evitar esta condición de flujo y que la profundidad de agua no exceda la condición establecida en la Sección 5.11.a.

SECCIÓN 5.12 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DE LAS TUBERÍAS

5.12.1 Ecuaciones

- a. Para el diseño de las tuberías se usará la ecuación de Manning o la ecuación de Darcy-Weisbach. Estas son las Ecuaciones 5.2 y 5.3 del Apéndice 5.B (Sección 5.22).

5.12.2

Coefficientes de Rugosidad

- a. La Tabla 5.2 contiene valores del coeficiente de rugosidad de Manning para tubos de diferentes materiales. Valores para el factor de fricción en la ecuación de Darcy-Weisbach se consiguen en referencias técnicas [6].
- b. Los valores provistos en la Tabla 5.2 son valores promedio para tubos nuevos. Valores más altos pueden usarse para considerar efectos por envejecimiento de los tubos. Los valores máximos recomendados para tubos parcialmente llenos pueden ser de hasta un 30% más altos [7].
- c. Se hará distinción entre tubería hidráulicamente rugosa e hidráulicamente lisa usando el diagrama de Moody.

5.12.3

Tuberías Hidráulicamente Lisas

- a. Se permitirá usar un valor constante del coeficiente de Manning, n , u otro valor recomendado por el fabricante, en tuberías hidráulicamente lisas si se demuestra que para todas las condiciones y todas las tuberías con ese coeficiente se obtienen pérdidas de carga hidráulica mayores o iguales que las obtenidas con la n de Manning correspondiente al número de Reynolds para el caudal de diseño en la tubería.
- b. Cuando se utilicen tubos hidráulicamente lisos, tales como PVC, PP y HDPE, se usará la Ecuación 5.4 (Sección 5.23) para estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning.
- c. El factor de fricción, f , para la Ecuación 5.4 se calculará con la Ecuación 5.5.
- d. El Apéndice 5.C (Sección 5.23) presenta los detalles de estas ecuaciones.
- e. El Apéndice 5.D (Sección 5.24) presenta el procedimiento para obtener el diámetro del conducto que satisface las Ecuaciones 5.3 y 5.4, simultáneamente.
- f. El diámetro seleccionado será el diámetro comercial disponible que sea inmediatamente mayor al calculado.

5.12.4

Tuberías Hidráulicamente Rugosas.

- a. El diámetro mínimo de la tubería se determinará despejando de la Ecuación de Manning según la relación para tubería circular dada por la Ecuación 5.8 del Apéndice 5.E (Sección 5.25).
- b. El diámetro seleccionado será el diámetro comercial disponible que sea inmediatamente mayor al calculado.
- c. El diámetro mínimo será de 300 mm (12 pulgadas).

5.12.5 Conductos no Circulares.

- a. Las dimensiones de otras secciones transversales, tales como elíptica o rectangular, se determinarán utilizando la ecuación de Manning para una pendiente que cumpla con los requisitos de pendiente mínima para el material específico del conducto.

SECCIÓN 5.13 PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

5.13.1 Pérdidas de Energía por Fricción, h_f

- a. Las ecuaciones de Darcy-Weisbach (Ecuación 5.9) o Manning (Ecuación 5.10) se utilizarán para calcular la pérdida de energía por fricción en conductos circulares (Sección 5.26).
- b. En flujo de superficie libre, con flujo uniforme y permanente, la línea del gradiente hidráulico (LGH) es paralela a la superficie del agua y al fondo del conducto.
- c. En todos los casos se requiere estimar el coeficiente de Manning, n , o el coeficiente de Darcy-Weisbach, f , que se utilizan para calcular la disipación de energía en el tubo que se diseña.
- d. Los valores de la LGH se calcularán una vez se obtenga el diseño final del sistema pluvial y se mostrarán en los planos de construcción (elevaciones de las líneas de tubería). La Figura 5.3 presenta un esquemático de la LGH en el sistema pluvial.

5.13.2 Pérdidas de Energía en Pozos de Registro, h_L

- a. Las pérdidas de energía en pozos de registro se calcularán mediante el método de coeficientes de pérdida propuesto por la Agencia Federal para la Administración de Autopistas (FHWA por sus siglas en inglés) [3].
- b. La ecuación utilizada para el cálculo de las pérdidas de energía en los pozos de registro consiste en multiplicar la carga de energía cinética por un coeficiente de pérdidas ajustado según la geometría del pozo y los tubos que llegan al mismo según se detalla en la Ecuación 5.11 del Apéndice 5.G (Sección 5.27).
- c. El método se aplica comenzando con el conducto de salida (menor energía) continuando hacia el próximo pozo de registro aguas arriba hasta cubrir todo el sistema. El Apéndice 5.G ofrece los detalles para la aplicación de este método.

SECCIÓN 5.14 ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

- a. Se deben evaluar los efectos de la descarga del sistema aguas abajo de la salida del sistema.

- b. No se permite que la descarga del proyecto altere en forma alguna las condiciones hidráulicas del lugar de descarga ni aguas debajo del mismo.
- c. Las estructuras de disipación de energía tienen como propósito prevenir la erosión, proteger la estabilidad de los cauces, proteger los recursos naturales y la zona marítimo-terrestre.
- d. La ubicación más común de las estructuras de disipación de energía es en los sitios de descarga final del sistema pluvial.
- e. El tipo de estructura de disipación depende de las características de la estructura de salida, por ejemplo, alcantarilla, tubo, canal o charca, y de las características y restricciones del cauce o la zona donde se descarga; por ejemplo, río, lago, humedal y zona marítimo-terrestre.
- f. Las condiciones en el punto de descarga tales como velocidades y profundidades del agua, número de Froude y regímenes de flujo, se deben considerar en la selección y el diseño de estructuras de disipación.
- g. Se permitirán estructuras de disipación por impacto, rip-rap o que utilicen salto hidráulico para lograr la disipación de energía. Cada una de estas estructuras tiene sus particularidades, sus requisitos para el diseño y su aplicación para condiciones específicas.
- h. El diseñador debe justificar la selección del tipo de dissipador y utilizar los procedimientos de diseño disponibles en la literatura técnica de uso común [6] [8].

SECCIÓN 5.15 ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO PARA DESCARGAS DISPERSAS

- a. Se requiere una zona de amortiguamiento en aquellos casos en que las aguas pluviales descarguen de manera dispersa.
- b. Las descargas hacia a humedales y en la zona marítimo-terrestre deben hacerse de manera dispersa. La zona de amortiguamiento también se requiere cuando la descarga es hacia un sumidero, según se detalla en la Sección 7.6.
- c. No se permite la construcción de ninguna estructura dentro de la zona de amortiguamiento.
- d. La distancia mínima que se debe guardar como zona de amortiguamiento es de 10 metros ($\approx$ 33 pies) para pendientes del terreno menores o igual al 2%.
- e. Para pendientes mayores al 2% y menores de 12%, la distancia mínima aumenta con la pendiente del terreno, según la Ecuación 3.11 (Sección 3.11.1.1.b). Para propósito de esta sección del reglamento, L_{max} es equivalente a la distancia mínima requerida.
- f. Para pendientes mayores del 12%, la distancia mínima de amortiguamiento es de 25 metros (82 pies).

SECCIÓN 5.16 NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES

- a. El diseño debe evaluar los niveles de agua en el cuerpo de agua receptor para evitar que la salida del sistema pluvial quede tan sumergida que ocasione inundaciones por efectos de remanso de agua.
- b. El diseñador incluirá en su informe el criterio utilizado para estimar los niveles de agua del cuerpo receptor correspondientes a las frecuencias de diseño establecidas en este reglamento.

SECCIÓN 5.17 SISTEMAS DE BOMBEO PARA AGUAS PLUVIALES

- a. El bombeo de aguas provenientes de los sistemas de alcantarillado pluvial se usará solamente cuando no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable.

5.17.1 Condiciones para Instalaciones de Bombeo de Aguas Pluviales.

- a. La estación de bombeo se colocará cerca del punto más bajo del área que se desea drenar y el acceso a la instalación debe ser a través de rutas que permanezcan transitables en todo momento.
- b. La consideración de bombeo debe ir acompañada por estudios que demuestren que el diseño minimiza el área de drenaje que contribuye a la estación de bombeo y no se permitirán incrementos en el área de drenaje ni en los caudales de diseño asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos, a menos que se realice otro estudio donde se diseñen los cambios necesarios para poder manejar las nuevas condiciones.
- c. Se proveerá el almacenamiento de detención necesario para regular el caudal máximo de bombeo en adición al volumen del pozo húmedo de la estación de bombas.
- d. En caso de que el drenaje pluvial dependa totalmente del bombeo, se instalarán como mínimo dos unidades de bomba, cada una con capacidad para suplir el caudal de diseño, las cuales funcionarán de forma alterna. En todo momento habrá una bomba de reserva en caso de falla de una de ellas y para proveer mantenimiento sin interrumpir el servicio. Las bombas funcionarán en forma alterna.
- e. Las estaciones de bombeo deberán contar con generadores eléctricos de emergencia permanentes provistos con conmutadores ("transfer switch") de arranque automático con capacidad mínima para dar energía suficiente para bombear el máximo caudal, operar los limpiadores de rejillas y energizar el alumbrado eléctrico; y que garantice su operación por un periodo de por lo menos 48 horas a partir del momento en que se produjo la desconexión de la energía eléctrica. El generador debe estar situado en una zona libre de inundación.

- f. Se debe tener un sistema automático para detectar problemas de funcionamiento, nivel de succión excesivamente alto y fallas eléctricas.
- g. Las instalaciones pueden ser de pozo húmedo (“wet pit”) o pozo seco (“dry pit”). El tipo de instalación seleccionado deberá estar de acuerdo con los requisitos de bombeo, las características de operación de la bomba y las del sistema hidráulico.
- h. Las casetas de bombas deben tener un pararrayos para protección de los motores.
- i. La caseta de bombas debe tener ventilación adecuada.
- j. Debe proveerse protección contra golpes de ariete en la tubería de descarga y válvulas de control de aire (ventosas) en los puntos altos de la línea de descarga.

5.17.2

Información para el Diseño Final

- a. El diseño final debe presentar la siguiente información.
 - Selección y diseño de las bombas, incluyendo curvas características y cálculo del NPSH.
 - Plano y elevaciones de la caseta de bombas.
 - Cálculos de rastreo (enrutamiento) en el volumen de almacenamiento y dimensionamiento del pozo húmedo.
 - Panel de Controles eléctricos.
 - Protocolos de Seguridad.
 - Acceso adecuado.
 - Equipos para remoción de basuras (rejillas y rastrillos).
 - Disposición adecuada para la basura y escombros.
 - Sistema de monitoreo, incluyendo medición de niveles, caudales y presiones de bombeo.
 - Equipo para alertar al personal en caso de fallas de funcionamiento.
 - Certificación de ingeniero eléctrico y mecánico para la parte electromecánica del sistema de bombeo.
- b. El diseñador debe consultar estos aspectos en manuales de diseño de uso regular en la práctica profesional tales como Smith and South [9], Rishel [10], Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico [11] y The Urban Resources Research Council and the Water Environment Federation [12].

SECCIÓN 5.18 REFERENCIAS

- [1] American Concrete Pipe Association, Concrete Pipe Design Manual, 2011.
- [2] ASCE, «Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems,» American Society of Civil Engineers, NY, 1992.
- [3] S. Brown, J. Schall, J. Morris, C. Doherty, S. Stein y J. Warner, «Urban Drainage Design Manual, HEC-22,» FHWA, Washington, DC, 2013.
- [4] D. A. Chin, Water-Resources Engineering, 3rd ed., Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2013.
- [5] R. S. Gupta, Hydrology and Hydraulic Systems, 4th ed., Long Grove, IL: Waveland Press, 2017.
- [6] L. W. Mays, Hydraulic Design Handbook, NY: McGraw Hill, 1999.
- [7] V. T. Chow, Open Channel Hydraulics, NY: McGraw Hill, 1959.
- [8] P. L. Thompson y R. T. Kilgore, Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, HEC-14, 3rd ed., FHWA, 2006.
- [9] P. N. Smith y M. E. South, Highway Stormwater Pump Station Design, HEC-24, Washington, DC: FHWA, 2001.
- [10] J. B. Rishel, Water Pumps and Pumping Systems, New York: McGraw Hill, 2002.
- [11] Autoridad de Acueductos y Alcantarillados de Puerto Rico, Reglamento de Normas de Diseño, San Juan, PR, 1984.
- [12] The Urban Resources Research Council and the Water Environment Federation, Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, Alexandria, VA: Water Environment Federation/American Society of Civil Engineers, 1992.
- [13] N. Houghtalen, R. J. Akan y A. O. Hwang, Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, Prentice Hall, 2016.
- [14] S. Offor y U. Alabi, «An Accurate and Computationally Efficient Explicit Friction Factor Model,» *Adv. Chem. Eng. Sci.*, vol. 6, pp. 237-245, 2016.

SECCIÓN 5.19 TABLAS

Tabla 5.1 Separación máxima entre pozos de registro o cámaras de acceso (American Concrete Pipes Association [1]).

Diámetro del tubo		Separación máxima	
pulgadas	milímetros	pies	metros
12-24	300 - 600	300	91
27-36	675 - 900	400	122
42-54	1,050 - 1,350	500	152
60 y mayores	1,500 y mayores	1,000	305

Tabla 5.2 Valores promedio del coeficiente de rugosidad de Manning para tubos nuevos.

Material	<i>n</i>
Bronce	0.011
Hierro Fundido	0.012
Hierro Dúctil	0.012
Hormigón liso	0.012
Hormigón Centrifugado	0.013
Cobre	0.011
Metal Corrugado	0.022
Hierro Galvanizado	0.016
Plástico	0.009
Polietileno-Paredes lisas	0.009 - 0.015
Polietileno- paredes corrugadas	0.018 - 0.025
PVC sin revestimiento	0.009-0.011
Acero	0.011

SECCIÓN 5.20 FIGURAS

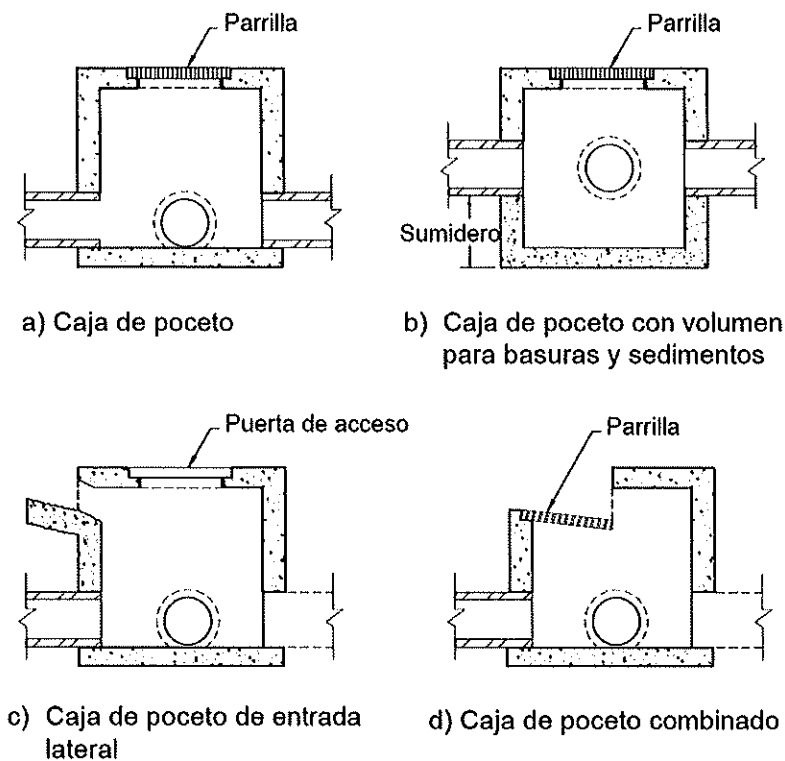


Figura 5.1 Elevaciones de tipos de cajas de pocetos.

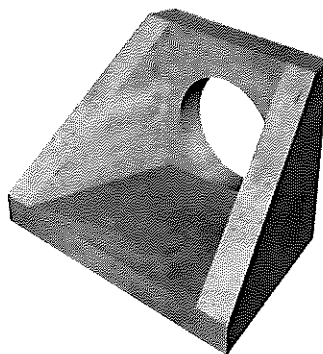


Figura 5.2 Ejemplo de un muro de cabecera con alas y plataforma de concreto para protección en la entrada de tubos pluviales.

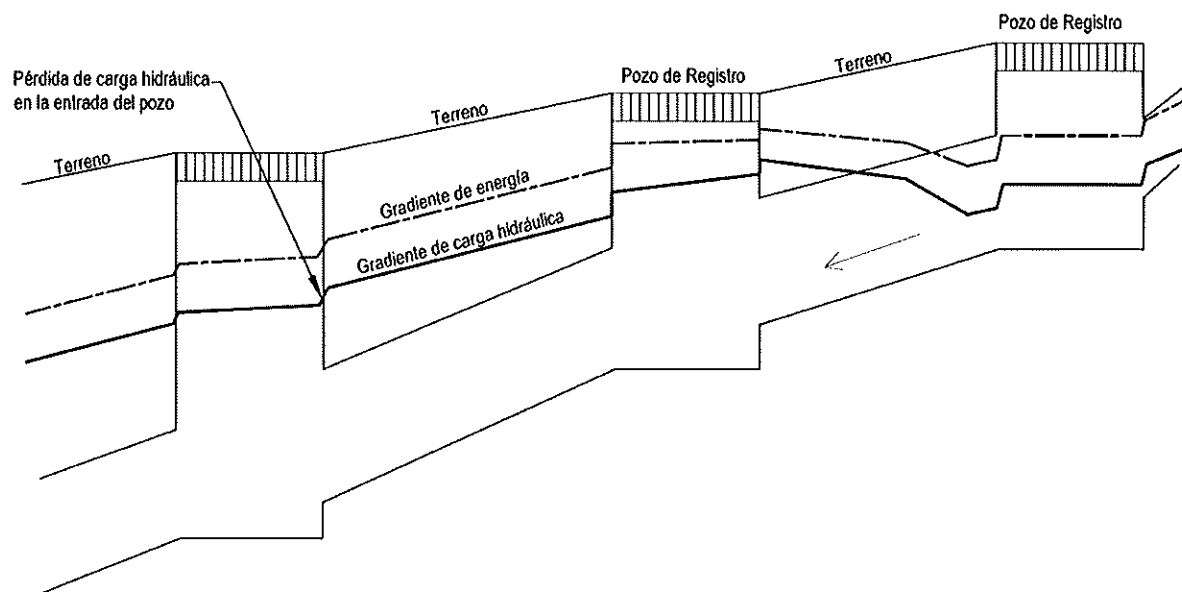


Figura 5.3 Líneas de altura del gradiente de carga hidráulica (LGH) y el gradiente de energía (LGE).

SECCIÓN 5.21 APÉNDICE 5.A – CÓMPUTO DE PENDIENTE MÍNIMA

- a. El valor establecido para velocidad mínima del agua cuando el tubo funciona completamente lleno (flujo lleno) será 0.61 m/s (2 p/s). Para asegurarse de cumplir con este criterio se verificará que las pendientes usadas sean mayores o iguales a la que se obtiene con la Ecuación 5.1.

$$S_f = C_u \left(\frac{nV}{D^{0.67}} \right)^2 \quad (5.1)$$

donde S_f es la pendiente de la línea de energía y se presume igual a la pendiente del tubo (flujo uniforme), S_0 , $C_u = 6.35$ para sistema de unidades SI o 2.87 para sistema de unidades USC, n es el coeficiente de rugosidad de Manning, V es la velocidad de flujo lleno en las unidades correspondientes (m/s o p/s, respectivamente) y D es el diámetro del tubo en metros o pies, respectivamente.

SECCIÓN 5.22 APÉNDICE 5.B – ECUACIONES PARA DISEÑO DE TUBERÍAS

- a. Las ecuaciones requeridas por este reglamento pueden ser cualquiera de las dos que se presentan a continuación.
- b. Ecuación de Manning:

$$Q_c = C_m \frac{A_c R^{2/3} S_f^{0.5}}{n} \quad (5.2)$$

- c. Ecuación de Darcy-Weisbach:

$$Q_c = \sqrt{\frac{8g}{f}} A_c \sqrt{R S_f} \quad (5.3)$$

donde Q_c es el caudal pasando por el tubo, n es el coeficiente de Manning, C_m es el coeficiente de unidades igual a 1 para SI y 1.49 para USC, A_c es el área seccional de flujo, $R = A_c/P_c$ es el radio hidráulico, P_c es el perímetro mojado, S_f es la pendiente o gradiente de la línea de energía, f es el factor de fricción de Darcy-Weisbach, y g es la constante de aceleración de la gravedad (9.81 m/s² en sistema SI y 32.17 ft/s² en sistema USC).

SECCIÓN 5.23 APÉNDICE 5.C – ECUACIONES PARA TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE LISAS

- a. Cuando se utilicen tuberías lisas, tales como PVC, PP y HDPE, se usará la Ecuación 5.4 para estimar el valor del coeficiente de rugosidad de Manning.

$$n = \frac{\sqrt{f} R^{1/6}}{\sqrt{8g}} \quad (5.4)$$

- b. Para números de Reynolds mayores de 4000, el factor de fricción, f , se obtiene tradicionalmente del diagrama de Moody o de la ecuación de Colebrook y White [13]. Una aproximación para calcular el factor de fricción directamente es como sigue [14].

$$f = \left\{ -2 \log \left\{ \frac{\varepsilon}{3.71 D} - \left(\frac{1.975}{Re} \right) \left[\ln \left(\left(\frac{\varepsilon}{3.93 D} \right)^{1.092} + \left(\frac{7.627}{Re + 395.9} \right) \right) \right] \right\} \right\}^{-2} \quad (5.5)$$

donde Re es el número de Reynolds, D es el diámetro del tubo, ε es la rugosidad promedio del material, $\log$ es el logaritmo con base 10 y $\ln$ es el logaritmo natural. Esta ecuación aplica a los intervalos de número de Reynolds desde 4000 hasta 10^8 , rugosidades relativas desde cero hasta 5×10^{-2} , y su error relativo máximo es de 0.0664%.

SECCIÓN 5.24 APÉNDICE 5.D – PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR n Y D USANDO f

- a. Los efectos viscosos afectan los coeficientes de rugosidad en la ecuación de Manning. Esto es particularmente importante para tubos hidráulicamente lisos. En estos casos se utilizará la ecuación de Darcy-Weisbach para calcular el coeficiente de Manning usando el siguiente procedimiento.

1. Presuma un valor del coeficiente de fricción, f , normalmente entre 0.014 y 0.009.
2. Calcule el valor de diámetro del tubo con la siguiente relación, donde S_0 es la pendiente de fondo del tubo.

$$D = 1.579 \left[\frac{Q_c \sqrt{\frac{f}{g}}}{\sqrt{S_0}} \right]^{2/5} \quad (5.6)$$

3. Determine el radio hidráulico para una relación $y/D = 0.7$. Esto es $R = 0.296 D$.
4. Calcule el número de Reynolds con la relación $Re = \frac{2.018 Q_c}{\nu D}$ donde ν es la viscosidad cinemática del agua a temperatura ambiente.
5. Determine un nuevo valor del factor de fricción, f , usando la Ecuación 5.5 con rugosidad cero ($\varepsilon = 0$).
6. Repita el procedimiento a partir del paso 2 hasta que el factor de fricción entre dos iteraciones sucesivas sea igual en dos cifras significativas.
7. El valor de la n de Manning correspondiente al número de Reynolds específico se obtiene con la siguiente ecuación.

$$n = \frac{C_m}{(8g)^{1/2}} f^{1/2} R^{1/6} \quad (5.7)$$

- b. Este procedimiento no aplica a tubos corrugados de ningún material ya que no se consideran tuberías lisas.

SECCIÓN 5.25 APÉNDICE 5.E – ECUACIONES PARA ESTIMAR EL DIÁMETRO MÍNIMO EN TUBERÍAS HIDRÁULICAMENTE RUGOSAS

- a. El dimensionamiento de los tubos se hará considerando que el conducto fluye a un valor y/D igual a 0.7 cuando lleva el caudal de diseño. Por lo tanto, el diámetro mínimo del tubo se determinará despejando de la Ecuación de Manning según la siguiente relación para tubería rugosa circular.

$$D = 1.655 \left[\frac{nQ_c}{C_m S_0^{1/2}} \right]^{3/8} \quad (5.8)$$

- b. El diámetro comercial que se seleccione será el próximo diámetro mayor que el estimado con la Ecuación 5.8.
- c. El diámetro mínimo es de 300 mm (12 pulgadas).
- d. El Tabla 5-2 contiene valores del coeficiente de Manning para tubos de diferentes materiales.

SECCIÓN 5.26 APÉNDICE 5.F - CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN, h_f

5.26.1 Ecuación de Darcy-Weisbach

- a. La ecuación para el cómputo de las pérdidas por fricción en un tubo circular es

$$h_f = f \frac{L_t}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5.9)$$

donde L_t es el largo del tubo.

5.26.2 Ecuación de Manning

- a. La ecuación para el cómputo de las pérdidas por fricción en un tubo circular es

$$h_f = L_t \left[\frac{nV}{C_m R^{2/3}} \right]^2 \quad (5.10)$$

SECCIÓN 5.27 APÉNDICE 5.G – CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN POZOS DE REGISTRO, h_L

- a. Esta sección ha sido adaptada del Urban Drainage Design Manual, HEC-22 de la FHWA [3]

5.27.1

Ecuación General

- a. La ecuación para cálculo de pérdidas de energía en pozos de registro es la siguiente.

$$h_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (5.11)$$

- b. Este coeficiente K se multiplica por factores de ajuste, descomponiéndose en seis factores como se especifica a continuación.

$$K = K_o C_D C_d C_Q C_p C_B \quad (5.12)$$

donde

K_o = coeficiente inicial de pérdida de carga basado en el tamaño relativo del pozo de registro,

C_D = factor de corrección por diámetro del tubo,

C_d = factor de corrección por profundidad de flujo,

C_Q = factor de corrección por porcentaje de flujo en cada tubo,

C_p = factor de corrección para flujo en caída libre, y

C_B = factor de corrección por configuración del fondo.

5.27.2

Coeficiente Inicial de Pérdidas de Carga Hidráulica, K_o

- a. El coeficiente inicial de la pérdida de carga, K_o , depende del tamaño de la estructura relacionado al diámetro del tubo de salida, D_o , y del ángulo θ entre los tubos de entrada y salida, según se muestra en la Figura 5.4. Este coeficiente se calculará con la siguiente ecuación.

$$K_o = 0.1 \left(\frac{B}{D_o} \right) (1 - \sin \theta) + 1.4 \left(\frac{B}{D_o} \right)^{0.15} \quad (5.13)$$

donde B es el diámetro interno del pozo de registro.

- b. Si la estructura no es circular, se calcula un diámetro equivalente definido como el diámetro de una estructura circular que tiene área igual al área de la estructura no-circular.

5.27.3

Factor de Corrección por Diámetro de Tubo, C_D

- a. El factor de corrección por diámetro de tubo, C_D , se considera solamente en los casos donde la predicción de la profundidad del agua, d , en la estructura es por lo menos 3.2 veces el diámetro del tubo de salida. Si no es así, entonces este coeficiente tiene un valor de uno ($C_D = 1$).

- b. La profundidad del agua, d , es la diferencia entre la elevación de la línea del gradiente hidráulico aguas arriba del tubo de salida y la elevación de la invertida del tubo. Este factor se calcula con la ecuación:

$$C_D = \left(\frac{D_o}{D_i} \right)^3 \quad (5.14)$$

donde D_i es el diámetro del tubo que llega al pozo de registro.

5.27.4

Factor de Corrección por Profundidad de Flujo, C_d

- a. La corrección por profundidad de flujo, C_d , se calcula sólo en casos donde la predicción de la profundidad en la estructura es menos de 3.2 veces del diámetro del tubo de salida. Si no cumple esta condición entonces $C_d = 1$.
- b. El factor de corrección es dado por

$$C_d = 0.5 \left(\frac{d}{D_o} \right)^{0.6} \quad (5.15)$$

donde d es la profundidad de agua en la estructura calculada como la diferencia entre la elevación de la línea del gradiente hidráulico aguas arriba del tubo de salida y la elevación de la invertida del tubo de salida.

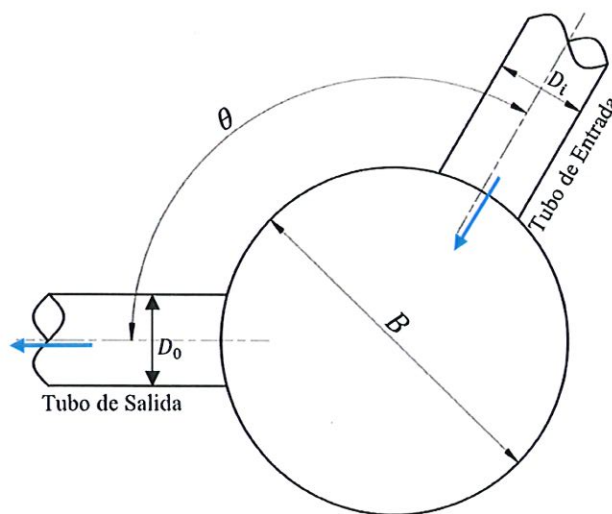


Figura 5.4 Ángulo del cambio de dirección entre los tubos de entrada y salida en un pozo de registro.

5.27.5**Factor de Corrección por Porcentaje de Flujo de cada Tubería, C_Q**

- a. El factor de corrección para el porcentaje de flujo de cada tubo, C_Q , es requerido en aplicaciones donde hay dos o más tubos entrando en la estructura. Cuando es sólo un tubo entrando y uno saliendo, entonces, $C_Q = 1$. El factor de corrección depende del ángulo θ entre el tubo de salida y el tubo de entrada (ver Figura 5.4) y de la razón entre el caudal del tubo de entrada y el caudal del tubo de salida. La ecuación es:

$$C_Q = 1 + (1 - 2\sin\theta) \left(1 - \frac{Q_i}{Q_o}\right)^{0.75} \quad (5.16)$$

donde Q_i es el caudal del tubo i que llega al pozo de registro y Q_o es el caudal del tubo de salida.

5.27.6**Factor de Corrección para Flujo en Caída Libre, C_p**

- a. Cuando una o más de los tubos entrantes a un pozo de registro tienen sus invertidas por encima de la elevación de la superficie libre del agua dentro del registro, se produce una caída libre. El coeficiente C_p esta dado por

$$C_p = 1 + 0.2 \left(\frac{h}{D_o}\right) \left(\frac{h - d}{D_o}\right) \quad (5.17)$$

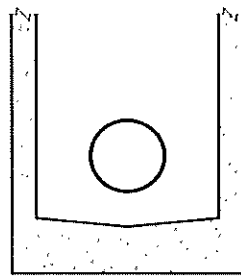
donde h es la diferencia en elevación entre la invertida del tubo de llegada más alto y la línea de centro del tubo de salida y, d es la profundidad de agua en la estructura calculada como la diferencia entre la elevación de la línea del gradiente hidráulico aguas arriba del tubo de salida y la elevación de la invertida del tubo de salida. Si no hay tubos con descargas en caída libre o cuando $h \leq d$, entonces $C_p = 1$.

5.27.7**Factor de Corrección por Configuración del Fondo, C_B**

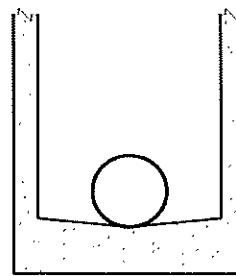
- a. Este factor depende de la construcción del pozo de registro y se obtiene de la Tabla 5.3 para las configuraciones presentadas. Para el uso de esta tabla se considera que la base del pozo se encuentra sumergida si $d/D_o \geq 3.2$ y no-sumergida cuando $d/D_o \leq 1.0$. Para valores de d/D_o entre 1 y 3.2 se puede usar interpolación lineal.

Tabla 5.3 Factor de pérdidas en pozo de registro, C_B , para diferentes configuraciones del fondo.

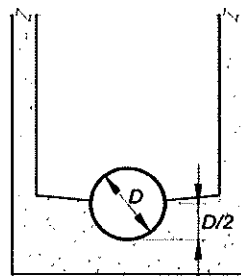
Configuración del fondo del pozo (ver Figura 5.5)	Condición del fondo	
	Sumergido	No Sumergido
Fondo Plano o con una depresión (Figura 5.5 a y b)	1.00	1.00
Media caña (Figura 5.5 c).	0.95	0.15
Media caña con extensión vertical hasta la corona del tubo (Figura 5.5 d).	0.75	0.07



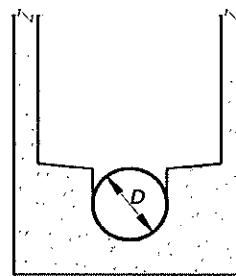
a. Fondo con depresión



b. Fondo con depresión a nivel con el tubo



c. Fondo con depresión y tubo media caña



d. Fondo con depresión y tubo media caña con paredes verticales extendidas

Figura 5.5 Configuraciones del fondo del pozo.

CAPÍTULO 6 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍAS

SECCIÓN 6.1 INTRODUCCIÓN

- a. Este capítulo presenta las alternativas de control de escorrentía pluvial más utilizadas en la práctica de la ingeniería, incluyendo los criterios de diseño para diferentes tipos de charcas. Aunque existen otros medios de control, tal como el uso de prácticas de bajo impacto (LID) el enfoque en este capítulo es en las charcas de varios tipos y sus estructuras de entrada y salida para lograr el control deseado para mitigación de caudales y reducción de volumen de las escorrentías.

SECCIÓN 6.2 GENERALIDADES

- a. Las estructuras de control de escorrentía son variadas. Entre ellas están las charcas y los tanques soterrados de hormigón, de fibra de vidrio, de acero o de aluminio corrugado, pero la más utilizada es la charca para almacenamiento de escorrentía pluvial.
- b. La Figura 6.1 muestra un esquemático de una charca típica para control de escorrentía.
- c. Las estructuras hidráulicas para el control de la descarga de salida son una combinación de orificios, vertedores y tuberías.
- d. Las estructuras de control se colocarán siguiendo diferentes configuraciones tales como tubos verticales perforados (“risers”), vertedores de cresta delgada (o cresta aguda) o de cresta ancha, orificios y tuberías para salida de las aguas.
- e. Los hidrogramas de salida de las charcas tendrán un caudal máximo menor al del hidrograma de la entrada.

SECCIÓN 6.3 CHARCAS DE RETENCIÓN

- a. Las charcas de retención mantienen un nivel base de agua permanente y permiten almacenar escorrentía pluvial sobre ese nivel base. También se les conoce como “charcas húmedas”.
- b. Se diseñarán estructuras de salida para extraer el exceso de agua sobre el nivel base de la charca tales como vertedores de excedencia o tubos verticales de salida.
- c. Entre sus propósitos se pueden mencionar mejoras en la calidad del agua, ornato y paisajismo, recreación, y control de escorrentía.
- d. El diseño de estas charcas debe considerar aspectos para prevención de daños al ambiente y la salud como:
 - 1. Calidad de agua.

2. Retención de cantidades mínimas de escorrentía durante periodos de sequía.
 3. Mantenimiento de la vegetación circundantes.
- e. El fondo y las paredes de estas charcas deben estar debidamente impermeabilizados para evitar infiltraciones que drenen completamente la charca.

SECCIÓN 6.4 CHARCAS DE INFILTRACIÓN

- a. El mecanismo principal de salida de estas charcas es la infiltración.
- b. Estas charcas se permiten en lugares donde los suelos son permeables, la topografía es plana y la profundidad del agua subterránea permite que los volúmenes almacenados en la superficie sean incorporados al subsuelo con rapidez suficiente para evitar desbordamientos durante los eventos de diseño.
- c. El diseño de estas charcas debe realizarse asegurando que los suelos mantendrán su capacidad de infiltración y que, bajo las condiciones de saturación los gradientes hidráulicos sean lo suficientemente altos para mantener una salida de agua tal que no se desborde la charca.
- d. Los estudios que se realicen requieren información detallada sobre la capacidad de infiltración, permeabilidad del suelo saturado y no-saturado, conductividad hidráulica, mediciones del nivel freático y la profundidad del acuífero [1].
- e. El mantenimiento debe garantizar que los suelos no se verán alterados por sedimentos u otras condiciones que sellen los poros y reduzcan la infiltración.

SECCIÓN 6.5 CHARCAS INTERCONECTADAS

- a. Dos o más charcas se consideran interconectadas si interaccionan hidráulicamente. De lo contrario pueden estar conectadas en serie, pero son independientes desde el punto de vista hidráulico [2].
- b. En charcas conectadas, pero hidráulicamente independientes, como se muestra en la Figura 6.1, el comportamiento hidráulico de la estructura de salida de la primera no debe afectar a la segunda. En este caso se aplican los métodos de diseño presentados en este capítulo en forma independiente para cada charca, siempre y cuando el caudal de entrada a la segunda charca sea el hidrograma de salida de la primera.
- c. Para charcas interconectadas, como las mostradas en la Figura 6.2, el comportamiento hidráulico de ambas charcas está acoplado y puede ocurrir flujo en dirección de la charca 2 hacia la charca 1. El nivel del agua en la charca 2 sube lo suficiente como para afectar el nivel del agua de la charca 1, sumergiendo el tubo de salida de la primera charca. Estos casos requieren consideraciones especiales tales como el uso de válvulas de flujo en una dirección (“flap valves”) para evitar flujos en reversa.

- d. Para el diseño de charcas interconectadas se requiere el uso de métodos de rastreo hidrológico o hidráulico que consideren de manera simultánea los cambios de nivel en el sistema de charcas completo y no solamente en una de ellas o individualmente.

SECCIÓN 6.6 CHARCAS “FUERA DE LÍNEA” CON EL SISTEMA DE DRENAJE

- a. Estas charcas recogen una porción de la escorrentía generada en un proyecto y la desvían hacia una charca que no está en-línea con el sistema principal de alcantarillado.
- b. Su función es reducir las descargas en el sistema principal.
- c. En esta configuración se diseñará estructuras de desvío que cumplan con los requerimientos de este reglamento.

SECCIÓN 6.7 CHARCAS DE DETENCIÓN

- a. Este es el tipo más común de charcas para el control de escorrentía en diseño de sistemas de alcantarillados urbanos.
- b. Las charcas de detención reciben escorrentía y la descargan de manera continua y controlada mediante estructuras hidráulicas.
- c. Estas charcas pueden diseñarse como charcas húmedas que tienen un nivel de agua permanente, sin embargo, el diseño, para efectos del rastreo de los hidrogramas, no debe considerar ese volumen.
- d. Se permite reemplazar el volumen de las charcas de detención por tanques soterrados que almacenan el agua de forma temporal y la descargan gradualmente por gravedad o mediante bombeo de ser necesario.
- e. La Figura 6.3 muestra un esquemático de la charca de detención.

SECCIÓN 6.8 OTROS USOS DE LAS ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA

- a. Las estructuras de control de escorrentía se diseñan con el propósito de manejar adecuadamente las escorrentías generadas en todo tipo de desarrollo. Otros usos de estas estructuras no interferirán con el propósito y diseños establecidos en este reglamento.

SECCIÓN 6.9 CRITERIOS DE DISEÑO

- a. Los requisitos presentados en esta Sección aplican a los tipos de charca mencionados en este capítulo. El diseño de las charcas clasificadas como prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID) se presenta en el Capítulo 10 de este reglamento (Guía para el Diseño de Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto).

6.9.1 Localización del Lugar de Descarga

- a. Se deben considerar alternativas para la localización, el volumen de almacenamiento, y las descargas de salida de las charcas, como parte del diseño.
- b. La descarga será hacia un cauce natural siempre que sea posible.
- c. Si se descarga en un sistema existente, en ningún caso la descarga de la charca deberá ser mayor que la capacidad hidráulica segura restante del sistema existente.
- d. En caso de no poder descargar en un cauce natural o un sistema existente, el efluente de la charca deberá ser distribuido como flujo en capa emulando el comportamiento natural de la escorrentía superficial para la condición predesarrollo.
- e. El requisito de la Sección 6.9.1.d aplica igualmente en los casos en que se descargue hacia un humedal o hacia la zona de separación.

6.9.2 Efectos Aguas Abajo de la Descarga de la Charca

- a. Se deben cuantificar los efectos de la descarga del sistema aguas abajo de la salida de una charca.
- b. Aun cuando los criterios para mantener el caudal pico, antes y después del desarrollo se cumplan localmente, el diseñador evaluará los efectos de la charca sobre la cuenca regional, asegurándose que el proyecto no incrementa el pico del hidrograma de esta cuenca.
- c. Cuando la descarga es hacia la zona marítimo-terrestre o hacia un sumidero, se cumplirá con los requisitos requeridos para estas condiciones.

6.9.3 Pendientes de Taludes

- a. Las pendientes laterales de las charcas deben garantizar la estabilidad estructural del talud de tierra en la charca.
- b. El diseño final considerará las recomendaciones de un ingeniero geotécnico en la determinación de las pendientes de los taludes, la estabilidad y la profundidad de esta.

6.9.4 Pendientes y Canal en el Fondo de la Charca

- a. Se proveerá una pendiente en el fondo de la charca suficiente para facilitar su drenaje completo entre eventos de lluvia.
- b. La pendiente deberá drenar la charca hacia las estructuras de salida.
- c. Se podrá proveer un canal a lo largo del fondo que dirija las escorrentías de eventos menores hacia la estructura de salida para facilitar la salida total del

agua y evitar la acumulación de sedimentos, siempre y cuando el propósito de la charca no sea el de infiltrar las aguas de escorrentía.

6.9.5 Manejo de Sedimentos

- a. Se colocará una trampa de sedimentos frente a la estructura de salida de la charca con el propósito de recoger los sedimentos que se depositen en ese lugar después de terminada la construcción del proyecto.
- b. La profundidad de la trampa será de un mínimo de 30 cm (1 pie) por debajo de la elevación mínima de las estructuras de salida y el área estará basada en un volumen estimado de sedimentos utilizando técnicas aceptadas en la práctica de la ingeniería.
- c. Se requerirá que el mantenimiento de la trampa de sedimento se integre en el Plan de Operación y Mantenimiento del sistema pluvial. Consultar el Capítulo 9 para detalles.

SECCIÓN 6.10 EVENTOS DE DISEÑO PARA CHARCAS DE DETENCIÓN

6.10.1 Generalidades

- a. Las charcas serán diseñadas para los eventos de lluvia (frecuencia y duración) presentados en la Tabla 6.1 y en cumplimiento con el Reglamento Conjunto vigente.
- b. En ningún de estos eventos los flujos de salida de la charca excederán los flujos máximos estimados para la condición predesarrollo.
- c. Se utilizarán los eventos más críticos entre los dos cuartiles para cada frecuencia y duración para determinar el flujo de diseño de la charca.

6.10.2 Distribuciones Temporales de la Lluvia

- a. Las distribuciones temporales de la lluvia que se utilizarán en el diseño de las charcas son las correspondientes al primer cuartil, percentil de 10% y cuarto cuartil, percentil de 90% y están disponibles en las *Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos-Hidráulicos de Puerto Rico* [3].

6.10.3 Duraciones de Tiempo de la Lluvia

- a. Las duraciones para los eventos de la lluvia corresponden a 6, 12 y 24 horas.

6.10.4 Periodos de Retorno

- a. Los periodos de retorno establecidos en la Tabla 6.1 serán utilizados para cumplir con el Reglamento Conjunto vigente.

6.10.5 Profundidades de la Lluvia

- a. Las profundidades de lluvias correspondientes a los periodos de la Tabla 6.1 y las correspondientes duraciones de lluvia serán obtenidas del NOAA - ATLAS 14 para datos de precipitación de Puerto Rico [4] para el sitio del proyecto.

6.10.6 Escenarios de Mitigación

- a. El diseño de las charcas utilizará los eventos de lluvia para cada periodo de retorno que produzcan el caudal pico mayor. Este requerimiento produce tres escenarios, cada uno correspondiendo a un periodo de retorno.

6.10.7 Estructuras de Salida

- a. Las estructuras de salida serán las adecuadas para cumplir con los requisitos de flujos máximos de salida correspondientes a los periodos de retorno y duraciones de lluvia que se presentan en la Tabla 6.1.
- b. Se permiten vertedores, orificios, tubos verticales y alcantarillas.
- c. El Apéndice 6.A ofrece una descripción de las estructuras más utilizadas para el control de los caudales a la salida.
- d. Se debe consultar manuales técnicos y otras referencias disponibles, como, por ejemplo, [5] y [6], para más detalles.
- e. Se debe proveer una estructura de salida de emergencia en caso de que se exceda el caudal de diseño u ocurra algún tipo de obstrucción en las estructuras de salida. La Sección 6.13 incluye requisitos de diseño para estas estructuras.
- f. La estructura de salida de emergencia estará protegida contra la erosión. Bajo ciertas circunstancias se permitirá el uso de pozos de drenaje como estructura de salida, según se detalla en la SECCIÓN 6.19.

SECCIÓN 6.11 NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES

- a. Si la charca de detención descarga en un río, un lago u otro cuerpo de agua, los niveles de agua en el cuerpo de agua receptor se considerarán en el diseño de la estructura de salida de la charca.
- b. El diseñador incluirá en su informe el criterio utilizado para estimar los niveles de agua del cuerpo receptor correspondientes a las frecuencias de diseño de la charca presentadas en la Tabla 6.1.

SECCIÓN 6.12 VERTEDOR DE EMERGENCIA

- a. Las estructuras de control deben contar con un vertedor para emergencias.
- b. El vertedor para emergencias debe ser capaz de descargar un caudal máximo para un periodo de retorno de 200 años, y para las duraciones y los percentiles de la Tabla 6.1.

SECCIÓN 6.13 DISTANCIA LIBRE VERTICAL

- a. Se proveerá una distancia o borde libre vertical de un mínimo de 30 cm (1 pie) por encima del nivel máximo del agua en la charca correspondiente al evento de lluvia de 200 años de retorno.

SECCIÓN 6.14 ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

- a. Se deberá proveer estructuras de disipación de energía a la salida de las charcas para una descarga adecuada del sistema hacia su desagüe final. Las estructuras de disipación de energía serán seleccionadas según los criterios usados en la Sección 5.14.

SECCIÓN 6.15 TIEMPO DE VACIADO

- a. El 95% del volumen de la charca deberá drenar en un periodo no mayor de 48 horas a partir del comienzo del evento de lluvia de 100 años de recurrencia y 24 horas de duración.

SECCIÓN 6.16 NIVELES FREÁTICOS

- a. Se requiere un estudio para conocer las características del subsuelo y nivel freático promedio del lugar.
- b. Se guardará una distancia mínima de 30 cm (1 pie) desde el nivel freático promedio del lugar a la elevación mínima de la base de la charca.

SECCIÓN 6.17 REJILLAS PARA ESCOMBROS Y BASURA

- a. Toda estructura de salida de las charcas tendrá un sistema de rejillas para evitar la entrada de escombros, basura y personas no autorizadas.
- b. Las rejillas deben instalarse con inclinaciones de tal manera que la fuerza del flujo de agua mantenga los escombros y basura en la superficie del agua y no obstruya el paso hacia el interior de la estructura de salida.
- c. La Figura 6.4 presenta un detalle típico de las rejillas para varios tipos de apertura en una estructura de salida.
- d. En el caso de pozos de drenaje, las rejillas podrán ser combinadas con gaviones para proveer el apoyo estructural y de igual manera, se instalarán inclinadas alrededor del pozo.
- e. Este sistema de protección para los pozos de drenaje debe cumplir con los requisitos establecidos en la SECCIÓN 6.19.

SECCIÓN 6.18 SEGURIDAD Y ACCESO

- a. Las charcas deben ser diseñadas para garantizar la seguridad pública y el fácil acceso para mantenimiento en conformidad con el Reglamento Conjunto vigente, incluyendo rotulación y verjas de seguridad.

SECCIÓN 6.19 POZOS DE DRENAJE COMO ESTRUCTURAS DE SALIDA

6.19.1 Condiciones para Uso de Pozos de Drenaje

- a. El drenaje de las aguas de escorrentía pluvial mediante pozos solamente se permitirá cuando se demuestre que no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable.
- b. Estos sistemas solamente se permitirán en aquellos lugares donde el subsuelo sea de alta permeabilidad y no se tengan arcillas u otras capas de baja permeabilidad en la zona donde se ubiquen los pozos.
- c. La capacidad de la estructura de almacenamiento se diseñará bajo los mismos criterios establecidos en este reglamento para las charcas de detención. La Figura 6.5 muestra un esquemático de una charca y sus pozos de drenaje.
- d. Aunque se tenga un suelo permeable en el fondo de la charca, esta condición no se considerará como parte efectiva para la infiltración.
- e. La capacidad de infiltración será la obtenida mediante los pozos de drenaje que se perforen en el fondo de la charca y se tomará en cuenta la interacción con el agua subterránea.
- f. Las aguas que descarguen en una estructura de almacenamiento con pozos de drenaje deben haber sido previamente filtradas para prevenir que las partículas o basuras tapen el interior de los pozos.
- g. El diseño debe considerar el diseño de la estructura de sedimentación o retención de particulado.
- h. Se proveerá un cálculo del diámetro mínimo de la partícula retenida en las estructuras de sedimentación antes del ingreso al pozo de drenaje.
- i. No se permitirán incrementos en el área de drenaje ni en los caudales de diseño asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos que pretendan drenar a la misma charca de detención, a menos que se realice otro estudio donde se diseñen los cambios necesarios para poder manejar las nuevas condiciones.

6.19.2 Aspectos de Diseño para Pozos de Drenaje

- a. Deberá realizarse un estudio de suelos indicando el tipo, parámetros de infiltración y espesor de la capa permeable, así como, profundidad de nivel piezométrico del agua subterránea debajo de la estructura de detención.
- b. El flujo para drenar se determinará considerando la conductividad hidráulica, la carga hidráulica sobre el pozo, la localización del control hidráulico, la longitud y pérdida de energía en el tubo, o revestimiento, del pozo y las pérdidas en la malla o encamisado del pozo. Debe describir la metodología utilizada para estimar la capacidad hidráulica del pozo.

- c. Se debe tomar en cuenta el efecto de interferencia provocado por la interacción de múltiples pozos dentro de la misma charca de detención.
- d. Se proveerá una estructura de salida de emergencia para prevenir desbordamiento descontrolado de la charca en caso de que los pozos se tapen en un evento extremo.
- e. Si no existe un cuerpo de agua donde descargar el desbordamiento de emergencia, el flujo se distribuirá en forma de capa sobre la superficie del terreno imitando el flujo de capa natural del lugar.
- f. Se preparará un plan de operación y mantenimiento de la estructura de almacenamiento y de los pozos para mantener su efectividad de drenaje. Consulte el Capítulo 9 para más detalles.

SECCIÓN 6.20 ZONA DE AMORTIGUAMIENTO PARA DESCARGAS DISPERSAS

- a. Se deben cumplir con los criterios de la Sección 5.15 de este reglamento.

SECCIÓN 6.21 NIVELES PARA DESCARGA A CUERPOS DE AGUA RECEPTORES

- a. Se deberá cumplir con los requisitos para zonas de descargas expuestos en la Sección 5.16 de este reglamento.

SECCIÓN 6.22 SISTEMAS DE BOMBEO PARA ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA

- a. Si la salida de las estructuras de control de escorrentía requiere bombeo, se deberá cumplir con los requisitos de la Sección 5.17 de este reglamento.

SECCIÓN 6.23 REFERENCIAS

- [1] J. C. Y. Guo, «Surface-Subsurface Model for Trench Infiltration Basins,» *J. Water Resour. Plan. Manag.*, vol. 124, n° 5, p. 280–284, 1998.
- [2] Haestad Methods and Durrans S.R., *Stormwater Conveyance Modeling and Design* 5th Ed., Exton, PA.: Haestad Press, 2007.
- [3] Silva-Araya, W. F. y Rivera-Santos, J., *Guías para la Elaboración de Estudios Hidrológicos/Hidráulicos en Puerto Rico*, San Juan, PR: Junta de Planificación de Puerto Rico, 2016.
- [4] NOAA, «NOAA ATLAS 14 POINT PRECIPITATION FREQUENCY ESTIMATES,» NOAA's National Weather Service Hydrometeorological Design Studies Center, 2016. [En línea]. Available: https://hdsc.nws.noaa.gov/hdsc/pfds/pfds_map_pr.html. [Último acceso: April 2021].
- [5] United States Bureau of Reclamation, «Water Measurement Manual,» US Department of the Interior, 2001.

[6] N. Houghtalen, R. J. Akan y A. O. Hwang, Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, Prentice Hall, 2016.

SECCIÓN 6.24 TABLAS

Tabla 6.1 Eventos de lluvia para el diseño de charcas.

Distribución temporal de la lluvia	Duración (horas)	Periodo de retorno (años)
Primer Cuartil, 10%	6, 12, 24	10, 25, 100
Cuarto Cuartil, 90%	6, 12, 24	10, 25, 100

SECCIÓN 6.25 FIGURAS

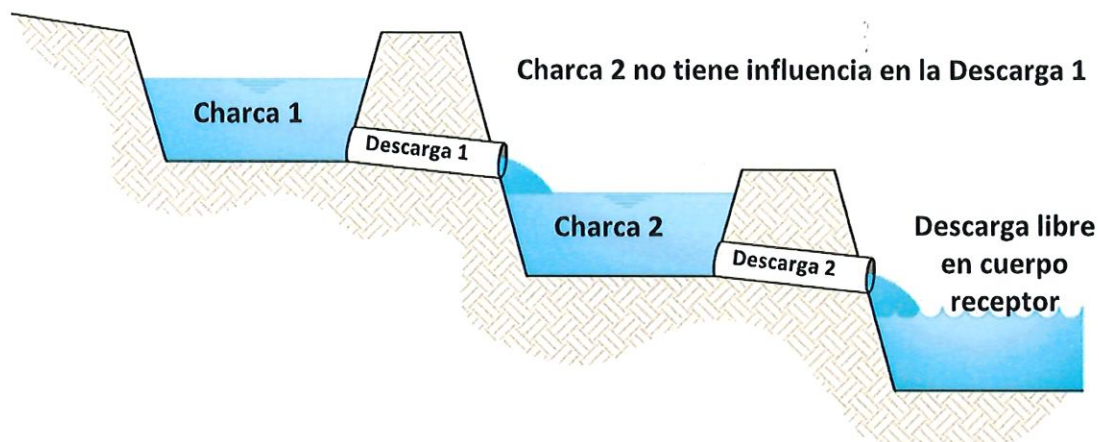


Figura 6.1 Esquemático de charcas independientes.

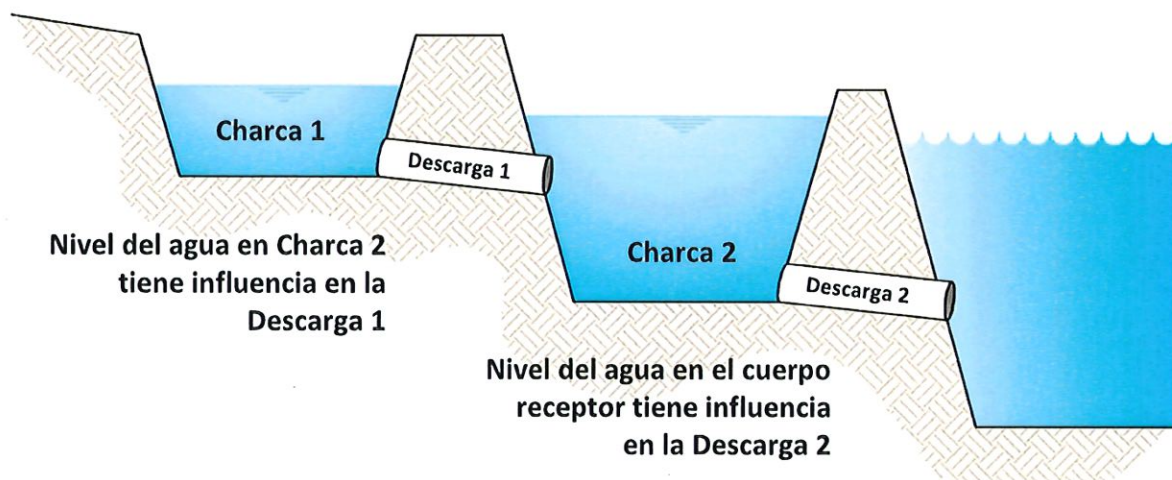


Figura 6.2 Esquemático de charcas interconectadas.

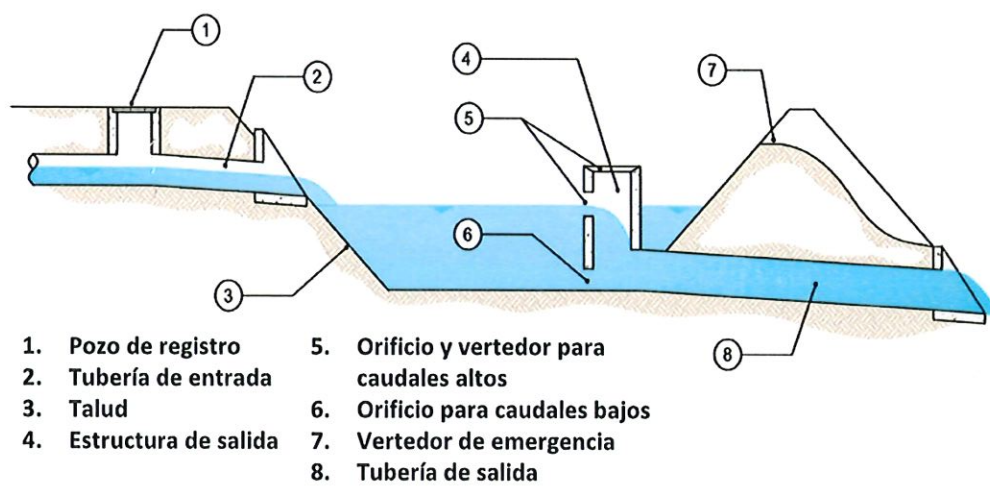


Figura 6.3 Esquemático de Estructura de Control de Escorrentía.



Figura 6.4 Detalles típicos de rejillas para escombros y basura en diferentes tipos de aberturas en una estructura de salida.

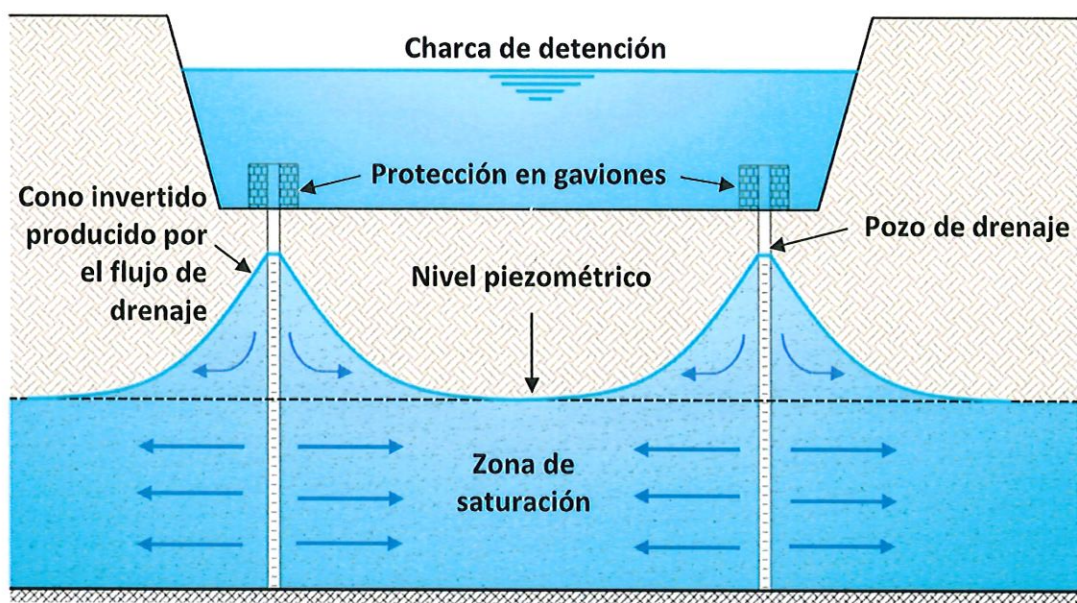


Figura 6.5 Estructura de control y almacenamiento de escorrentías con pozos de drenaje.

SECCIÓN 6.26 APÉNDICE 6.A – ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA DE CONTROL DE SALIDA

- a. En este Apéndice se incluye un resumen de las estructuras de control hidráulico más comunes.

6.26.1

Vertedores

- a. Los vertedores pueden ser de cresta delgada (o cresta aguda) o de cresta ancha. Los de cresta delgada son los más comunes en aplicaciones en charcas ya que son fáciles de fabricar y de instalar. Estos vertedores consisten en un corte en la pared que forma un agujero por el cual pasa el agua. Para el buen funcionamiento, estas estructuras deben descargar a presión atmosférica y nunca deben operar con el nivel del agua, o nivel de carga hidráulica, por encima de la pared del agujero donde se instalen. En otras palabras, no se permite el uso de vertedores sumergidos. El agujero del vertedor es usualmente en forma triangular o rectangular, aunque los hay de muchas geometrías. La Figura 6.7 muestra un vertedor rectangular descargando libre a la atmósfera. En este caso el vertedor tiene el mismo ancho que el canal, o sea que es un vertedor sin contracciones.
- b. El flujo pasando por un vertedor se mide conociendo la altura del nivel del agua sobre la cresta del vertedor. La ecuación para calcular el caudal en un vertedor rectangular sin contracciones es la siguiente.

$$Q = C_d L H^{1.5} \quad (6.1)$$

donde Q es el caudal, L es el ancho de la cresta del vertedor, H es la carga hidráulica sobre la cresta del vertedor, excluyendo la carga cinética, C_d es el coeficiente del vertedor que depende de la razón H/y . Para valores de $H/y > 0.3$ la ecuación se reduce a

$$Q = 1.84 L H^{1.5} \text{ para SI} \quad (6.2)$$

$$Q = 3.33 L H^{1.5} \text{ para USC} \quad (6.3)$$

- c. Si el vertedor tiene contracciones, el largo del vertedor, L , se reduce por la curvatura de las líneas de flujo en las paredes. En este caso el ancho efectivo del vertedor, L_{eff} , se calcula reduciendo el ancho real del vertedor, L_{real} , con la siguiente relación.

$$L_{eff} = L_{real} - 0.1 N H \quad (6.4)$$

donde N es el número de contracciones y es igual a 1 para un solo lado o 2 para ambos lados. La Figura 6.7 muestra un vertedor rectangular con contracciones.

- d. Los vertedores triangulares, como el mostrado en la Figura 6.9, también se utilizan frecuentemente. La ecuación para calcular el caudal en estos vertedores depende del ángulo α . Para $\alpha = 45$ grados, la ecuación es como sigue.

$$Q = 1.38H^{2.5} \quad \text{para SI} \quad (6.5)$$

$$Q = 2.50H^{2.5} \quad \text{para USC} \quad (6.6)$$

- e. Para otras geometrías se usarán referencias técnicas disponibles tales como United States Bureau of Reclamation [5] y Houghtalen, et al. [6].

6.26.2

Orificios

- a. Los orificios son apertura en las paredes a través de la cual pasa el agua estando en contacto con todo el perímetro de la apertura. Para esto el nivel del agua antes del orificio debe estar sobre el nivel superior de la apertura, tal como se muestra en la Figura 6.9. La ecuación general de un orificio es

$$Q = C_d A_o (2gH_o)^{1/2} \quad (6.7)$$

donde Q es el caudal a través del orificio, A_o es el área del orificio, g es la constante de la aceleración de la gravedad, C_d es el coeficiente del orificio el cual depende de la geometría y del acabado del borde del orificio y H_o es la carga hidráulica según se define a continuación.

- b. Si el orificio descarga libremente a la atmósfera, H_o se mide a partir del centro del orificio hasta el nivel del agua antes del orificio.
- c. Si el orificio está sumergido, entonces H_o es la diferencia en la elevación entre los niveles de agua a ambos lados del orificio.
- d. Las Figura 6.9 y Figura 6.10 muestran ambas condiciones. Para orificios rectangulares, con los bordes bien acabados, se usa un valor de $C_d = 0.6$. Si los bordes del orificio están sin acabar, se usará $C_d = 0.4$. El valor de 0.6 se aplica también a orificios circulares.
- e. Se pueden usar tuberías cortas como si fueran orificios, bajo la condición de que sean menores de 0.30 m (1 pie) de diámetro y que la razón $H_o/D > 1.5$. Tuberías de mayor diámetro se analizan como si fueran alcantarillas considerando los niveles de agua a la entrada y la salida del tubo.
- f. El caudal a través de múltiples orificios, como se muestra en la Figura 6.11, se calcula como la suma del flujo a través de cada orificio individual. Para el caso mostrado se usan las alturas H_1 , H_2 y H_3 repetidamente en la Ecuación 6.7 [6].

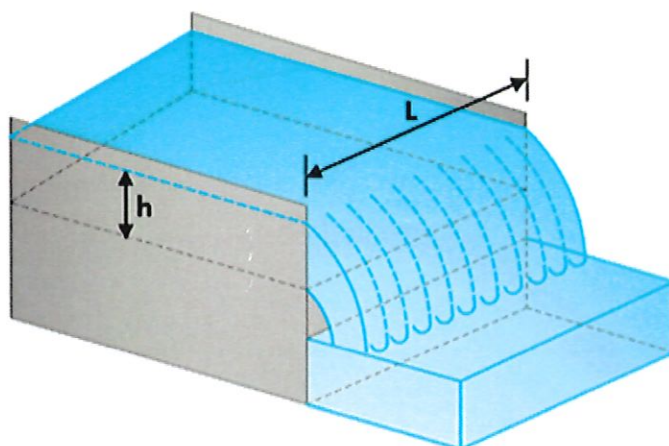


Figura 6.6 Vertedor rectangular sin contracciones.

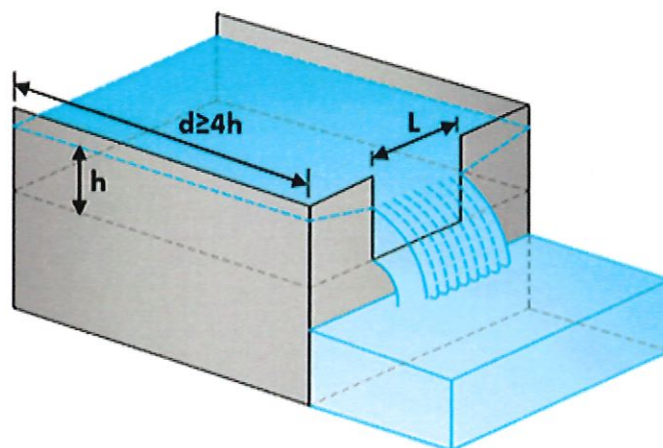


Figura 6.7 Vertedor rectangular con contracciones.

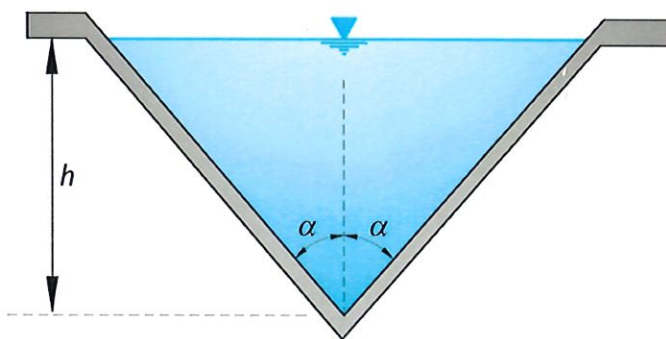


Figura 6.8 Vertedor triangular.

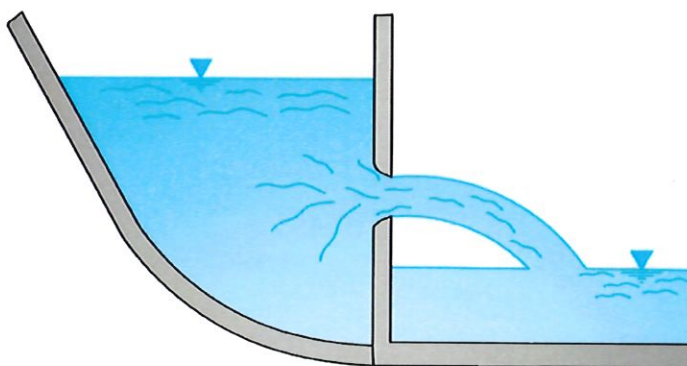


Figura 6.9 Orificio con descarga libre.

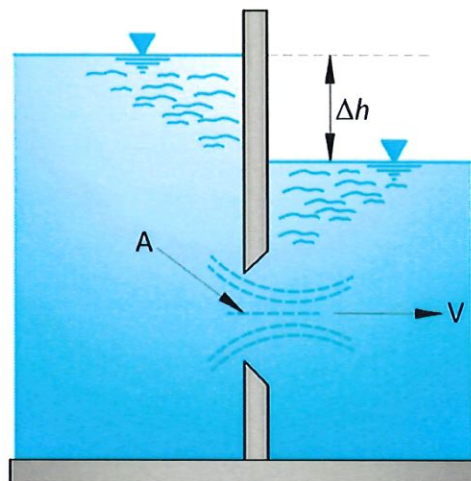


Figura 6.10 Orificio con descarga sumergida.

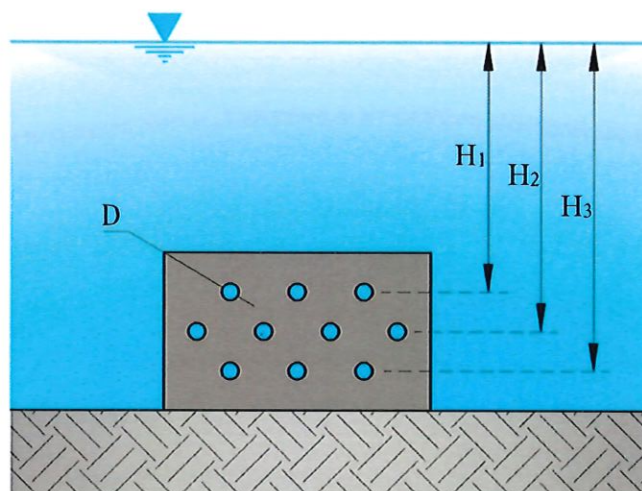


Figura 6.11 Placa con múltiples orificios

CAPÍTULO 7 MANEJO DE ESCORRENTÍAS PLUVIALES EN LA ZONA CÁRSTICA

SECCIÓN 7.1 PROPÓSITOS

- a. Este capítulo trata el manejo de escorrentías pluviales en zonas cársticas en Puerto Rico. Se establecen los estudios requeridos, las mejores prácticas de manejo, los criterios de diseño y otros elementos importantes en la planificación, diseño y construcción de sistemas de control y protección para las descargas de las escorrentías de proyectos en la zona cárstica.
- b. Informar sobre la importancia, características, funcionamiento y componentes de la zona cárstica de Puerto Rico. Detalles sobre la hidrogeología y geomorfología de la zona cárstica se presentan en el Apéndice 7.A,
- c. Se establece la importancia que conllevan los estudios requeridos al ser estos un análisis multidisciplinario entre las ramas de la geología, geofísica e ingeniería geotécnica.

SECCIÓN 7.2 LEYES Y REGLAMENTOS

- a. Todo proyecto cuyo predio contenga uno o varios sumideros requerirá endoso del DRNA según se dispone en el Reglamento Conjunto vigente.
- b. Las leyes, reglamentos y planes de manejo que se mencionan a continuación protegen estas formaciones geológicas
 1. Ley Núm. 111 de 12 de julio de 1985, según enmendada, conocida como “Ley para la Protección y Conservación de Cuevas, Cavernas o Sumideros de Puerto Rico”, que dispuso la política pública del Estado Libre Asociado (ELA) de Puerto Rico sobre la protección y conservación de las cuevas, cavernas y sumideros en la jurisdicción del ELA;
 2. Ley Núm. 292 de 21 de agosto de 1999, según enmendada, conocida como “Ley para la Protección y Conservación de la Fisiografía Cárstica de Puerto Rico”.
 3. En virtud de la Ley Núm. 292, supra, el Plan y Reglamento del Área de Planificación Especial del Carso (PRAPEC), el cual fue aprobado mediante el Boletín Administrativo Núm. OE-2014-022 del 27 de mayo de 2014.
 4. Reglamento para el Control de Inyección Subterránea promulgado mediante Resolución R-83-23-1.

SECCIÓN 7.3 PLANIFICACIÓN DEL DISEÑO DEL SISTEMA PLUVIAL EN PROYECTOS DE DESARROLLOS

- a. Un sumidero es una depresión en el suelo que no tiene un drenaje externo natural. Básicamente, esto significa que cuando llueve, toda el agua se queda

dentro del sumidero y suele drenar hacia el subsuelo a través de la superficie o por una o varias aberturas hacia el sistema de grietas y cavernas subterráneas.

- b. Cualquier tipo de desarrollo en zonas clasificadas como cársticas, durante el proceso de planificación del diseño del sistema de manejo de las aguas de escorrentías, y que tenga la intención de descargar dichas aguas de escorrentía, en su totalidad o parcialmente, en un sumidero, incluirá y tomará en cuenta en dicho proceso la siguiente información como mínimo.
- Plano de mensura y topografía del área del sumidero y su entorno con datos de elevación actualizados.
 - El tipo de geología del área con la finalidad de poder definir la zona cárstica y sus características.
 - El potencial de desarrollo de sumideros basado en el tipo de geología del área y de la ubicación de sumideros existentes en el predio del proyecto y cercanos al mismo.
 - Determinación y uso de los métodos efectivos para identificar las áreas de posible subsidencia, o colapso, de los suelos en la zona de estudio.
 - Las prácticas de manejo, control y disposición de las aguas de escorrentía adecuados para las condiciones específicas del lugar de estudio y el posible uso de sumideros como puntos de descarga de las escorrentías del proyecto.
 - En todo tipo de proyecto propuesto, incluyendo proyectos de rehabilitación, remodelación, mejoras y reparación, se determinará la elevación promedio histórica del nivel freático. Se podrán utilizar los datos de los pozos de observación existentes en la zona o los mapas más recientes de superficie potenciométrica del USGS. De no ubicarse pozos cercanos, ni tener datos disponibles publicados en mapas recientes, se recomienda la instalación de pozos de monitoreo y un tiempo mínimo de un año de mediciones continuas de la elevación del agua.
 - Las áreas que tienen una superficie potenciométrica alta generalmente corresponden a áreas de topografía elevada y son sitios adecuados para la recarga de agua subterránea. Las áreas que tienen una superficie potenciométrica baja generalmente corresponden a áreas de baja topografía y comúnmente son sitios de descarga de agua subterránea. Por lo tanto, esta condición debe ser claramente identificada en el área del proyecto propuesto.
- c. Las estructuras de control de escorrentías (charcas de detención, retención, tanques, etc.) son las medidas usualmente utilizadas para mitigar el impacto de todo tipo de proyectos. Estas medidas toman mayor relevancia en proyectos localizados en la zona cárstica donde la integridad del sumidero se compromete

en todos sus aspectos. Para comprender este problema es necesario obtener información de estas estructuras geológicas con ayuda de diversos estudios como, por ejemplo, estudios geológicos, geofísicos y geotécnicos. Estos estudios serán realizados por profesionales debidamente licenciados y autorizados a ejercer en la jurisdicción del ELA en Puerto Rico con el propósito de indagar la posibilidad de presencia de cavidades en el subsuelo sobre el cual se propone una estructura de control de escorrentía, entre otros propósitos.

SECCIÓN 7.4 TÉCNICAS DE ESTUDIOS APLICABLES

- a. Se analizará toda la información disponible en mapas geológicos, cuadrángulos, fotos aéreas, imágenes de satélites, planos, etc. Se hará una identificación y ubicación preliminar de sumideros en el área de estudios y terrenos adyacentes.
- b. Las técnicas con equipos especializados se presentan bajo la clasificación de “métodos invasivos” y “métodos no-invasivos”, para la caracterización del subsuelo y definición del tipo de sumideros, en términos de su estratigrafía y otras propiedades geológicas. La combinación de ambos métodos permite definir el perfil suelo/roca en el área de estudio como método de corroboración de los estudios no invasivos.
- c. Estos estudios y análisis son necesarios para asistir al planificador, o diseñador, en el desarrollo de las medidas de control y protección en el uso de sumideros para la descarga de escorrentías de nuevos proyectos, incluyendo ampliaciones y cualquier otra obra que aumente el área de captación del sumidero.
- d. Un ingeniero geotécnico, o un geólogo licenciado, podrán proponer el uso de otras técnicas siempre y cuando se demuestre que son adecuadas y que producirán la información requerida para realizar diseños adecuados y seguros.

7.4.1 Métodos No-Invasivos

- a. Se consideran “métodos no-invasivos” aquellas técnicas con equipos especializados que no requieren la perturbación del subsuelo con medios mecánicos.
- b. Los estudios, técnicas o métodos clasificados bajo esta categoría de mayor utilidad para los propósitos de este reglamento son los siguientes. El Apéndice 7.B provee información adicional.
 - Cámara de Circuito Cerrado
 - Magnetómetro (“Magnetometer”)
 - El geo-radar o radar de subsuelo, radar de penetración en tierra (“Ground Penetrating Radar”, o GPR, por sus siglas en inglés)
 - Resistividad Eléctrica (“Electrical Resistivity”, o ER, por sus siglas en inglés)

- Refracción Sísmica (“Seismic Refraction”, o SR, por sus siglas en inglés)
- Perfil de Sismicidad Vertical (“Vertical Seismicity Profile” o VSP, por sus siglas en inglés)
- Microgravedad

7.4.2 Métodos Invasivos

- Los métodos invasivos son aquellos donde el subsuelo es estudiado utilizando equipos que perturban el suelo.
- Las perforaciones en suelo se harán con barrenas de tallo hueco mientras se colectan muestras de suelo continuamente.
- Las perforaciones en roca se harán con barrenas de tallo hueco y se utilizará el método de muestreo de testigos de roca (“rock core sampling”) con lo cual se pueda obtener información vertical sobre la condición y deposición de la roca caliza.

SECCIÓN 7.5 ELEMENTOS DEL ESTUDIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO Y SUMIDEROS

- El mínimo de elementos del análisis realizado en el estudio de la caracterización del subsuelo y de sumideros serán los siguientes.
 - Elección del método invasivo más adecuado para determinar la naturaleza del subsuelo, estratigrafía y tipo de roca de acuerdo con la estimación previa de las condiciones geológicas del lugar.
 - Colección de muestras de suelo y roca para inspección visual y obtener muestras para ser analizadas en laboratorios.
 - Análisis de datos obtenidos para evaluar la naturaleza, capacidad y manejo de sistema cavernoso.
 - Desarrollo de recomendaciones basadas en el análisis de los resultados de estos estudios, de tal manera que faciliten la toma de decisiones en el diseño de medidas de control de ingeniería y que minimicen la posibilidad de asentamientos significativos en áreas donde hay subsidencia de suelo, depresiones sin drenaje y fisuras cercanas a los sistemas propuestos de descargas de aguas pluviales.

7.5.1 Información Mínima que se debe Obtener de los Estudios Invasivos y No-Invasivos

- La información mínima que los estudios invasivos y no-invasivos deben proveer con el propósito de determinar posibles áreas de cavidades y otras características asociadas con los procesos de disolución y lavado de suelo en el

subsuelo en y cerca de sumideros, además de establecer la capacidad hidráulica de los sumideros, son las siguientes.

- Se integrarán los datos de mensura y topografía del sumidero y su entorno con los datos del mapa topográfico y geológico con el propósito de confirmar posibles variaciones en la descripción cartográfica de los mapas (cuadrángulos) del USGS. La topografía del sumidero se definirá desde el contorno topográfico que demarca el inicio del descenso hacia el interior de la depresión natural. Como punto de referencia, se verificará primero la descripción del sumidero en el mapa topográfico del USGS o utilizando la más reciente información LIDAR. Esta delimitación deberá ser evaluada y validada por el DRNA.
- Si el sumidero tiene boca, se determinará su ubicación con coordenadas y se medirá la profundidad aparente de la boca en metros (pies).
- La boca del sumidero puede estar temporalmente tapada con sedimentos finos. Este tapón de sedimento puede colapsar durante un evento de lluvia extremo y abrir nuevamente la boca del sumidero, aumentando significativamente la capacidad de infiltración y de conducir flujo. Esta condición debe ser identificada y documentada para ser incorporada en el análisis y diseño de las medidas de control de escorrentía.
- Análisis de fotos aéreas tridimensionales y su estudio para identificar y ubicar lineamientos, depresiones, cavidades y otras características importantes del entorno del área del proyecto. Se ubicarán estas características en el mapa topográfico y geológico del área bajo estudio.
- Inspección visual para definir la naturaleza del sumidero, condiciones actuales y poder hacer recomendaciones previo a su utilización.
- Se incluirán fotos con vista hacia el sumidero desde el norte, sur, este y oeste para documentar su ubicación y extensión superficial del sumidero para proveer información adicional a la detallada anteriormente.
- Identificar estado del sumidero: Natural, Impactado (desperdicios sólidos o movimientos de tierra) o Modificado (con controles de ingeniería).
- En el caso de más de un sumidero, o depresión, en las cercanías y dentro del área del proyecto, se hará una determinación sobre la conectividad hidráulica entre los sumideros y esta condición se tomará en consideración en el análisis y diseño de las medidas de control de escorrentía.
- En todo proyecto donde existan depresiones sin salida que almacenan agua temporalmente, deben ser identificadas y su almacenamiento temporal del agua tomando en cuenta en el análisis hidrológico predesarrollo.

- Identificar estudios previos de capacidad de manejo de aguas de escorrentía donde se indique el flujo en metros cúbicos por segundo (mcs) (pies cúbicos por segundo, pcs).
- Resultados de estudios geofísicos por medio de resistividad eléctrica (ER), refracción sísmica (SR), radar de tierra (GPR), perfil de sismicidad vertical (VSP) o microgravedad, según lo permitan las condiciones del área y el acceso a la misma.
- Programa de perforaciones alrededor del sumidero, muestreos geológicos y geotécnicos para confirmar el modelo geofísico e identificar alguna anomalía en torno a su composición y estabilidad.

SECCIÓN 7.6 ZONA DE AMORTIGUAMIENTO

7.6.1 Propósito

- a. Se designará una zona de amortiguamiento alrededor del sumidero, dentro del área del proyecto. Esta zona tendrá como propósito proteger el sumidero de construcciones, alteraciones, modificaciones, u otros usos que no sean exclusivamente el de mantener los suelos en las condiciones naturales previo al desarrollo del proyecto o de mejorar dichas condiciones para el propósito mencionado. Además, protegerá el sumidero de descargas descontroladas de sedimentos y otros contaminantes, promoverá la infiltración y mantendrá un flujo en el régimen de flujo en capa.

7.6.2 Generalidades

- a. Se proveerá una zona de amortiguamiento para proteger el perímetro de la depresión del sumidero en el cual se descarguen aguas de escorrentías producidas por el proyecto de desarrollo.
- b. Solo se permitirá descargas de escorrentías generadas por el proyecto en la zona de amortiguamiento y nunca directamente a la depresión del sumidero.
- c. Todas las aguas de escorrentías generadas dentro del área del proyecto serán dirigidas hacia una estructura de control antes de descargar en la zona de amortiguamiento.
- d. La descarga de escorrentía en la zona de amortiguamiento se hará de tal forma que emule el flujo de escorrentía en el estado predesarrollo. El régimen de flujo será el de flujo en capa.
- e. La zona de amortiguamiento estará ubicada en la parte exterior del perímetro de la depresión del sumidero.
- f. Se instalará una verja que limite el paso de animales y personas a la depresión del sumidero. La verja se localizará entre la depresión y la zona de

amortiguamiento. La verja proveerá acceso a equipo y personal de mantenimiento.

7.6.3 Servidumbre Pluvial

- a. La zona de amortiguamiento se constituirá en una servidumbre pluvial y estará sujeta a las disposiciones de la constitución de servidumbres pluviales del Reglamento Conjunto vigente.

7.6.4 Largo de la Zona de Amortiguamiento

- a. El largo de la zona de amortiguamiento será el necesario para proteger el perímetro de la depresión dentro del área del proyecto.

7.6.5 Ancho de la Zona de Amortiguamiento

- a. El ancho de la zona de amortiguamiento será aquel necesario para sostener un régimen de flujo en capa caracterizado por poca profundidad y velocidades bajas.
- b. Si la pendiente de la superficie es igual o menor a 2 %, el ancho será 10 metros.
- c. Si la pendiente de la superficie es igual o mayor a 12 %, el ancho será 25 metros.
- d. Si la pendiente se encuentra entre 2 % y 12 %, el ancho se determinará utilizando la siguiente relación donde S_0 es la pendiente en m/m (p/p).

$$\text{Ancho de la zona de amortiguamiento (metros)} = 72.4\sqrt{S_0} \quad (7.1)$$

- e. El ancho se medirá en la dirección del flujo y en la parte exterior a partir de perímetro de la depresión del sumidero.

7.6.6 Vegetación

- a. Si la vegetación natural del lugar es adecuada para filtrar las aguas de escorrentía en la zona de amortiguamiento, la misma se preservará en su estado natural (predesarrollo).
- b. Si la vegetación natural del lugar no es adecuada para filtrar las aguas de escorrentía en la zona de amortiguamiento (es escasa, no provee resistencia al flujo, etc.), se sustituirá la misma por vegetación adecuada. Los criterios para la selección del tipo de vegetación serán de acuerdo con la Sección 3.4.8 ("Filter Strip - Vegetation") del documento "Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas" [1].
- c. La vegetación debe establecerse completamente antes de cualquier movimiento de tierra en el sitio de construcción (remoción de capa vegetal ("top soil"), corte, relleno o nivelación, entre otros).

SECCIÓN 7.7 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD HIDRÁULICA DEL SUMIDERO

- a. La determinación de la capacidad hidráulica del sumidero se hará mediante pruebas de campo en “situ”. Esta sección presenta los diferentes factores que deben considerarse al realizar las pruebas de campo teniendo en cuenta las limitaciones de accesibilidad y disponibilidad de la tecnología necesaria.

7.7.1

Definición y Factores que Afectan la Capacidad Hidráulica

- a. El término “capacidad hidráulica del sumidero” se refiere al volumen de agua de escorrentía que el sumidero puede manejar, en su estado natural, sin afectar su integridad, tanto estructural como en comportamiento hidráulico, químico o biológico. El volumen manejado de esta forma puede traducirse en caudal al incorporar la variable tiempo en el análisis.
- b. Entre los factores que afectan la capacidad hidráulica de un sumidero, se tomarán en cuenta los siguientes [2].
 - Profundidad, dirección de flujo, grado de fluctuación y gradiente hidráulico de manto freático.
 - Estructura geológica (e. g., orientación de las fallas – dirección y ángulo de inclinación).
 - Topografía de las depresiones superficiales (dentro del área de captación).
 - Grado de disolución de la roca y su estado presente de actividad.
 - Tamaño del área de captación.
 - Presencia y tamaño de aberturas.
 - Desarrollos urbanos dentro del área de captación.
 - Ubicación de puntos de descarga (conocidos o presumidos) como manantiales o afloramiento del agua subterránea.
 - Potencial de inundaciones asociadas a ciertas intensidades o profundidades de lluvia.

7.7.2

Generalidades

- a. El diseñador tomará en cuenta las recomendaciones resultantes de los estudios y análisis realizados por el equipo de profesionales en el momento de decidir la técnica aplicable para la determinación de la capacidad hidráulica del sumidero.
- b. Antes de realizar la prueba, se preparará el terreno sobre el cual se harán las descargas de agua. Se instalará una lámina de polietileno o geotextil sobre el área de contacto entre el punto de salida y el camión de agua hasta la entrada al sumidero. Esto evitará la erosión del suelo y transporte de sedimentos hacia la abertura e interior del sumidero.

- c. Si la boca del sumidero está bajo tierra (no es visible), se asegurará que no hay escombros o basura obstruyendo la entrada.
- d. Cuando se identifiquen más de una abertura (boca de sumidero), o varios sumideros, en el área del proyecto y en las áreas circundantes, se hará una determinación si los sumideros están subterráneamente interconectados o no.
- e. En el caso de existir varios sumideros interconectados, el análisis para estimar la capacidad hidráulica del sumidero, objeto de la descarga del proyecto, se hará tomando en cuenta el sistema de sumideros interconectados.
- f. Se establecen tres escenarios para determinación de la capacidad hidráulica del sumidero.
 - 1. Depresión sin abertura (no tiene un hueco visible y se puede inundar).
 - 2. Depresión con abertura (se subdivide en 2 escenarios adicionales; A y B).

7.7.3 Escenario 1 – Depresión sin Aberturas Visibles

7.7.3.1 Método de inundación

- a. Luego de haber llevado a cabo las correspondientes evaluaciones de los estudios no invasivos e invasivos, el profesional a cargo preparará el modelo de inundación que permita recrear las condiciones evaluadas. Si las condiciones del terreno y de acceso lo permiten, el profesional recomendará que la depresión sea inundada con un volumen de agua conocido.
- b. La prueba consiste en descargar un volumen de agua conocido inundando la depresión y medir el cambio de elevación del nivel de agua con el tiempo.
- c. Las lecturas de la elevación de la superficie del agua se harán en el punto de mayor profundidad de la depresión minimizando las fluctuaciones de la superficie del agua.
- d. De ser necesario, la prueba se repetirá hasta obtener datos adecuados y confiables para la determinación del volumen infiltrado para cada intervalo de tiempo.
- e. Los resultados serán analizados y se prepararán curvas de caudal (“rating curves”) de altura de agua como la abscisa y el caudal como la ordenada. Esta información se utilizará para la determinación del caudal a ser utilizado en el diseño de las obras civiles de control de escorrentía.

7.7.3.2 Método de infiltración

- a. En el caso de que el acceso no permita traer los camiones de agua hasta la depresión, se podrán utilizar técnicas para medir la infiltración y conductividad hidráulica de los suelos en la depresión. El método utilizado debe estar regulado y estandarizado por alguna entidad reconocida como, por ejemplo, la ASTM. Se informarán las técnicas utilizadas y el estándar correspondiente.

- b. La prueba de infiltración se hará repetidamente en diferentes lugares dentro de la depresión de tal manera que se pueda estudiar el flujo a través de la superficie para las diferentes condiciones y tipos de suelo que puedan ocurrir en el lugar.
- c. Los resultados de esta prueba se presentarán en formato de curva de caudal como caudal vs. elevación de la superficie del agua.

7.7.4 Escenario 2.A - Depresión con Abertura que se puede Inundar

- a. La diferencia con el escenario 1 es que al haber una abertura (boca de sumidero) los flujos serán más grandes y esto dificulta la toma de lecturas de la superficie del agua.

7.7.4.1 Método de inundación

- a. Aplica todo lo indicado en la Subsección 7.7.3.1.
- b. Se podrán utilizar métodos mecanizados (sensores de profundidad) o digitales (cámaras de video) para la medición de la elevación de la superficie del agua con el tiempo.

7.7.4.2 Método de infiltración

- a. Al existir una abertura en la depresión, la prueba de infiltración no proveerá resultados adecuados, por lo tanto, no se debe utilizar este método para este escenario.

7.7.5 Escenario 2.B - Depresión con Abertura que no se puede Inundar

- a. Se hará un estimado del volumen de agua y el tiempo en que el proyecto estará descargando a la depresión según los requisitos del evento de lluvia de diseño. Además, se estimará el flujo pico que el proyecto producirá (hidrograma de respuesta del proyecto).
- b. Se utilizará una descarga de agua controlada para observar el comportamiento y determinar el caudal manejado por la depresión del sumidero.
- c. Se determinará el caudal promedio que ingresa en el sumidero dividiendo el volumen de agua descargada entre el tiempo que tomó descargarla.
- d. Se utilizará un factor de seguridad recomendado por los profesionales que realicen las pruebas, pero no será mayor de 0.75. El caudal determinado en la prueba se multiplicará por el factor de seguridad.
- e. Comparando con el hidrograma de respuesta del proyecto se determinará la mitigación requerida para este caso.

7.7.5.1 Curvas de caudal

- a. Las curvas de caudal se utilizarán para determinar el caudal que el sumidero puede manejar. Con esta información se determinará la mitigación requerida

para no exceder la capacidad hidráulica del sumidero y evitar que este se desborde (Escenarios 1 y 2.a).

- b. En adición, las curvas de caudal se utilizarán en la validación del diseño utilizando aplicaciones computadorizadas.

SECCIÓN 7.8 CONTROL DE ESCORRENTÍAS (MITIGACIÓN)

- a. Estas medidas estarán basadas en el control de la erosión, sedimentación y escorrentía según dispone la Sección de Manejo de Aguas Pluviales del Reglamento Conjunto vigente.
- b. Se implantarán medidas de control de escorrentías tales como charcas de detención o retención, pozos de drenaje, uso de cubierta vegetal, cambio en la pendiente superficial del suelo, entre otras, en todo tipo de proyectos en zonas cársticas.
- c. El Capítulo 6 de este reglamento presenta información de los criterios de diseño para las estructuras de control de escorrentías.
- d. No se permitirá la descarga de aguas pluviales directamente a la depresión del sumidero.
- e. Las descargas de las escorrentías pluviales del proyecto se harán directamente a la zona de amortiguamiento y en forma de flujo en capa distribuido sobre la superficie de tal forma que emule los procesos naturales de la condición predesarrollo.
- f. Cuando se propone una estructura de almacenamiento de aguas pluviales como método de control de escorrentía, se harán los estudios necesarios del subsuelo para garantizar que el subsuelo tiene la integridad estructural para soportar el peso de la estructura completamente llena de agua.
- g. La estructuras de control de escorrentía se incluirán en el programa de operación y mantenimiento.

SECCIÓN 7.9 POZOS DE DRENAJE

- a. El drenaje de las aguas de escorrentía pluvial mediante el uso combinado de pozos y ventosas en la zona cárstica solamente se permitirá cuando se demuestre que no hay otras alternativas viables y su uso es inevitable.
- b. No se permitirá la ubicación de un pozo de drenaje dentro de la depresión del sumidero.
- c. Se requerirán estudios geofísicos para determinar la viabilidad del uso de estos pozos de drenaje. Los estudios de campo deberán justificar la necesidad de la instalación de estos pozos y ventosa.

- d. Se determinarán las medidas de control requeridas para minimizar el deterioro a la formación geológica debido al uso de pozos.
- e. Los siguientes elementos serán considerados al momento de diseñar, construir y operar un sistema de pozos de drenaje pluvial y ventosas.
 - Las recomendaciones de los estudios geológicos y geotécnicos basadas en los resultados de un programa de evaluación geofísica y geotécnica del área bajo estudio.
 - Permiso del DRNA para la construcción y operación.
 - Diseño del pozo de drenaje siguiendo las normas y reglamentaciones locales vigentes (ver Sección 6.19 de este reglamento).
 - Instalación de pozo de drenaje y ventosa mediante perforaciones rotativas o de percusión, y posterior inspección mediante cámara de circuito cerrado para determinar la presencia de cavidades a lo largo de la perforación y así proveer camisilla con rejilla en estas áreas.
 - Encasillados dependiendo del diámetro de la perforación, tipo de camisilla sólida, camisilla con rejilla, tipo de grava, geotextil para cubrir el área externa de la camisilla con rejilla en la superficie, estabilizadores y protección de la cabecera del pozo, según se determine en diseño.
 - La profundidad de la ventosa en el subsuelo/roca y su altura sobre el nivel del sistema de drenaje serán determinados por las necesidades del diseño.
 - Protección el pozo de drenaje pluvial mediante gaviones y verjas de protección (ver Sección 6.17 de este reglamento) para minimizar entrada de sedimentos, desperdicios sólidos y personal no autorizado.
- f. El pozo de drenaje se incluirá en el programa de operación y mantenimiento.

SECCIÓN 7.10 VALIDACIÓN DEL DISEÑO DE LAS OBRAS DE MITIGACIÓN

- a. El diseño de las obras de mitigación será validado utilizando una aplicación de computadora desarrollada exclusivamente para la simulación de sistemas de alcantarillado pluvial.
- b. Las simulaciones de validación incluirán el sistema completo (mayor y menor) del alcantarillado pluvial, incluyendo las obras de mitigación y la depresión del sumidero.
- c. La depresión del sumidero se simulará como una charca y se utilizarán las curvas de caudales obtenidas en las pruebas para determinar la capacidad hidráulica del sumidero como las curvas de descarga (Escenarios 1 y 2.a).
- d. Se observarán con especial atención las elevaciones de agua dentro de la depresión y se harán los ajustes necesarios en el diseño de las obras de

mitigación (o en el alcantarillado pluvial) para evitar el desbordamiento de la depresión.

- e. En el Escenario 2.b, el caudal descargado en la depresión durante la simulación no excederá el caudal determinado en las pruebas de campo.

SECCIÓN 7.11 USO DEL SUMIDERO PARA DESCARGAS PLUVIALES DE DESARROLLOS ADICIONALES

- a. En ninguna circunstancia se permitirán incrementos en el área de captación ni en los caudales de diseño asociados con expansiones de proyectos o de nuevos proyectos que pretendan drenar las aguas de escorrentías al mismo sumidero, a menos que se realicen estudios que demuestren el efecto de estos cambios y se diseñen las obras de control requeridas para poder manejar las nuevas condiciones mitigando los efectos adversos.

SECCIÓN 7.12 MANTENIMIENTO DE OBRAS DE CONTROL

- a. El mantenimiento de áreas de drenaje al subsuelo debe responder a las necesidades del proyecto. Es importante que se incluyan los siguientes elementos en este plan (ver Capítulo 10 para más detalles).
 - Inspección de controles de ingeniería instalados: verjas, gaviones, trampas de sedimento, etc.
 - Inspección de la entrada (abertura) del sumidero y remoción de desperdicios sólidos.

SECCIÓN 7.13 REFERENCIAS

- [1] PREQB y USDA-NRCS, «Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas,» NRCS, 2005.
- [2] D. L. Royster, «Use of Sinkholes for Drainage,» *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 978, n° 4, p. 8, 1984.
- [3] W. H. Monroe, «Geología de las formaciones terciarias medias de Puerto Rico, PP 953,» US Geological Survey, 1980.
- [4] R. A. Renken, W. C. Ward, I. P. Gill, F. Gómez-Gómez, J. Rodríguez-Martínez y Otros, «Geología e Hidrogeología del Sistema de Acuíferos de las Islas del Caribe del Commonwealth de Puerto Rico y las Islas Vírgenes estadounidenses, PP 1419,» US Geological Survey, 2002.
- [5] E. V. Giusti y G. D. Bennett, «Water resources of the North Coast limestone area, WRI 42-75,» US Geological Survey, 1976.
- [6] E. V. Giusti, «Hydrogeology of the karst of Puerto Rico, PP1012,» US Geological Survey, 1978.

[7] J. A. Jennings, Karst Geomorphology, 2nd ed., 1985.

SECCIÓN 7.14 APÉNDICE 7.A – INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ZONA CÁRSTICA

7.14.1 Introducción

- a. La zona cárstica se compone de diversas estructuras geológicas como mogotes, zanjones, cuevas, y sumideros, entre otros. Los sumideros proveen el mecanismo mediante el cual las escorrentías superficiales tienen acceso inmediato al subsuelo, y luego de un proceso natural de flujo y transmisión, llegan a las áreas de cavernas que, a su vez, componen la red fluvial subterránea. El impacto del desarrollo urbano en la superficie del suelo en esta zona es significativo, provocando principalmente el incremento en la producción de escorrentías. Esta situación ha provocado que muchos de estos sistemas, que reciben el incremento de escorrentía a través de los sumideros, entren en un desbalance hidráulico, físico, biológico, y químico, entre otros.
- b. Puerto Rico tiene una gran variedad de formas de terrenos cársticos creados por la disolución de la roca caliza bajo condiciones climáticas tropicales. La zona cárstica está presente en la mayor parte donde la roca caliza se encuentra y cubre aproximadamente el 35 por ciento de la superficie total de la isla, pero la misma está más desarrollada en el norte y noroeste, sustentada por depósitos gruesos de formaciones de roca caliza. Estas formaciones se han disuelto en un laberinto de formas cársticas incluyendo valles, depresiones cerradas, algunas de las cuales tienen más de 100 metros de profundidad, torres, colinas cónicas o mogotes, zanjones, y cientos de cuevas. Algunas de estas cuevas contienen pasadizos de más de 60 metros de altura y más de un kilómetro de longitud. De especial interés son las cuevas con ríos subterráneos, algunos de los cuales tienen sus cabeceras en las rocas volcánicas e intrusivas de las partes interiores de la isla [3].
- c. La zona cárstica del norte de Puerto Rico se puede diferenciar fácilmente de las rocas intrusivas y volcánicas predominantes en el interior de la isla donde se le dio el nombre del Cinturón de Roca Caliza de la Costa Norte. Este corresponde a los cinturones lenticulares de topografía formados por la litología y las rocas terciarias subyacentes. El Cinturón de Roca Caliza de la Costa Norte tiene una longitud de 135 kilómetros de este a oeste y es más ancho, 23 kilómetros, cerca de la ciudad de Arecibo (ver Figura 7.1). El extremo oriental del cinturón, de unos 25 kilómetros de longitud, está enterrado en su mayoría por los depósitos aluviales de varios ríos [4].

7.14.2

Hidrogeología de la Zona Cárstica

- a. El flujo difuso es el principal mecanismo de movimiento de las aguas subterráneas dentro de los depósitos clásticos poco consolidados. Este mecanismo está presente en los principales acuíferos del sur, este, oeste, e interior de Puerto Rico. En el flujo difuso, el movimiento del agua está contenido dentro de los pequeños poros intergranulares que existen en la roca por donde el agua fluye a través de ellos. El flujo dentro de los acuíferos puede variar entre flujo difuso y el flujo de conducto (o concentrado). Este último se produce dentro de grandes aberturas formadas a lo largo de planos de capas, fracturas, articulaciones, y fallas.

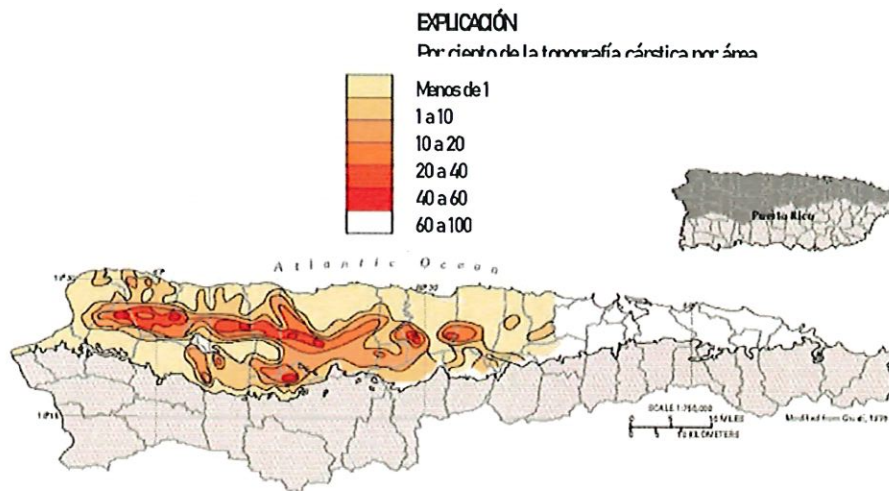


Figura 7.1 Terrenos cársticos en el norte de Puerto Rico [6].

- b. El movimiento de las aguas subterráneas en los acuíferos cársticos de roca relativamente joven (en un sentido geológico) no se limita únicamente al flujo de conductos, como se ha mencionado en el párrafo anterior. Sin embargo, Giusti y Bennett [5] y Giusti [6] infirieron que el flujo de agua subterránea dentro de las rocas calcáreas del norte de Puerto Rico ocurre en gran medida a través de un sistema de conductos estrechamente espaciados. Según su modelo conceptual, el movimiento de las aguas subterráneas se produce a lo largo de caminos de flujo preferenciales que incluían planos de capas, fracturas verticales, articulaciones, fallas (si están presentes) y "tuberías", todas las cuales se han expandido en diferentes grados por mineralización y disolución química. Así pues, el sistema de acuíferos de roca caliza de la costa norte puede ser visto

como un sistema de conductos y cuevas subterráneas que se combinan para formar un sistema de flujo en conductos altamente permeable. El relieve topográfico y la incisión de las rocas planas de carbonato debido al curso de ríos son los principales factores que controlan la dirección del flujo de agua subterránea en áreas de afloramiento del acuífero superior e inferior del norte.

- c. Los principales ríos a lo largo de la costa norte de Puerto Rico que ganan flujo debido a la descarga regional de aguas subterráneas en los terrenos cársticos, de oeste a este, son Río Culebrinas, Río Guajataca, Río Camuy, Río Tanamá, Río Grande de Arecibo, Río Grande de Manatí, Río Indio, Río Cibuco, y Río de la Plata.
- d. Las estimaciones de recarga de aguas subterráneas son significativamente mayores en el terreno cárstico desarrollado e incluye numerosos sumideros, cavernas colapsadas, y conductos subterráneos. En Puerto Rico, estas áreas se identifican a lo largo de las partes oeste y central de la región norte del terreno cárstico (Figura 7.1).

7.14.2.1

Acuífero Superior (Llano o Freático)

- a. El Acuífero Superior de la Provincia de la Costa Norte es el más productivo y de mayor capacidad de almacenaje de agua en Puerto Rico. Este acuífero está formado, en su mayoría, por capas de aluvión de alta porosidad (primaria más secundaria) sobre rocas calizas con niveles de desarrollo de fracturas y canales de solución que varían de moderados a altos [6]. El Acuífero Superior incluye capas de aluvión y depósitos marinos sobrepuestos sobre segmentos de las formaciones calizas, primordialmente las denominadas Aymamón, Cibao, Camuy y Aguada [3]. El acuífero se extiende desde la zona de Campanilla en Toa Baja, hasta el valle aluvial del Río Grande de Arecibo (Figura 7.2). Su espesor máximo varía dependiendo de su ubicación de este a oeste, así como en los abanicos aluviales formados en los valles inmediatos a los ríos de la Región.
- b. Rocas calizas de las formaciones Aymamón y Aguada descansan sobre barros impermeables de la Formación Cibao (capa confinante al este del Río Grande de Arecibo), que separa el Acuífero Superior del Inferior al este del Río Grande de Arecibo. La capa confinante al oeste del Río Grande de Arecibo consiste en la Formación Aguada. El espesor del acuífero superior calizo varía desde 0 hasta 1640 pies, con espesores en los valles aluviales de 0 a 500 pies (Figura 7.3).

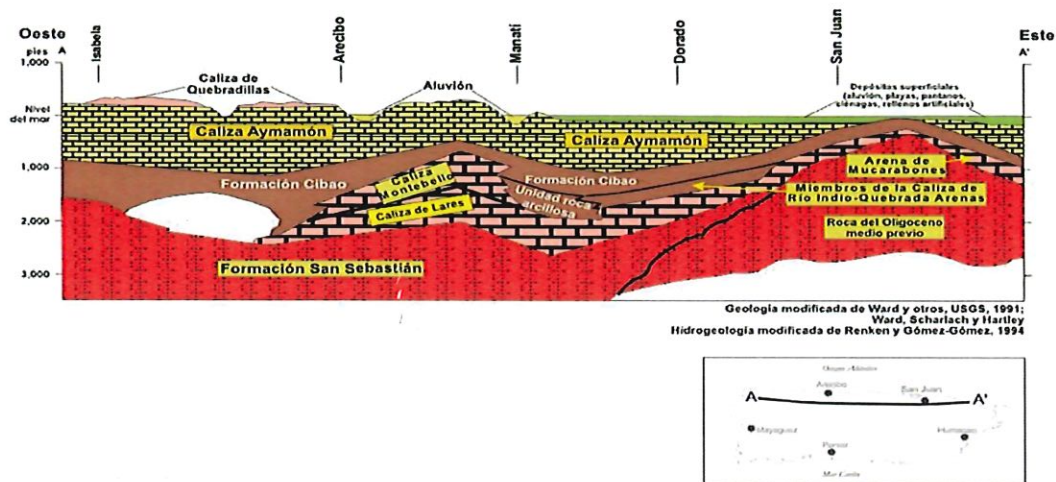


Figura 7.2 Sección longitudinal generalizada de la Región Norte de Puerto Rico.

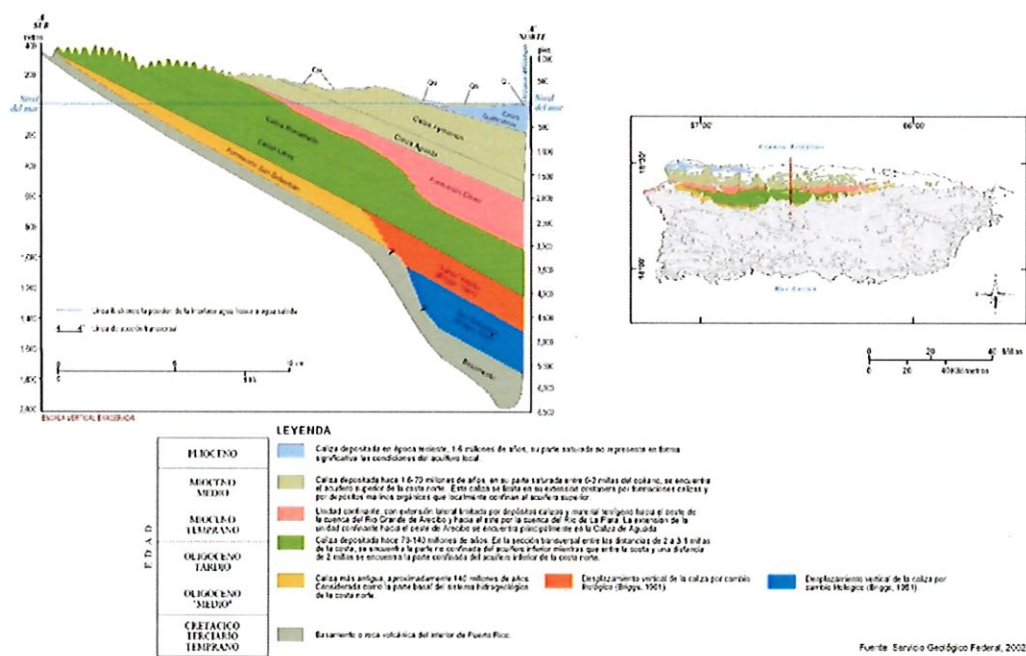


Figura 7.3 Sección transversal generalizada de la Región Norte de Puerto Rico.

7.14.2.2

Acuífero Inferior (Artesiano o Profundo)

- a. El Acuífero Inferior de la Provincia de la Costa Norte (también se le conoce como el Acuífero Artesiano o Confinado) se extiende desde Camuy hasta Vega Baja. El flujo de agua subterránea del Acuífero Inferior es primordialmente hacia el norte-noreste, con puntos de descarga en los ríos principales, en la costa y en el mar [4]. Este acuífero inferior, formado por rocas calizas de las formaciones Lares y Montebello, yace bajo el Acuífero Superior o Freático, separados por la Formación Cibao en áreas al norte de la latitud $18^{\circ} 27'$ (NAD1983). Es en esta latitud donde la capa confinante aflora. En áreas hacia el sur de la latitud $18^{\circ} 27'$, al Acuífero Inferior se le conoce como el Acuífero Inferior No Confinado. El nivel potenciométrico en la zona de recarga contribuye a las condiciones artesianas, particularmente en la zona de Manatí a Barceloneta. En esta zona, las presiones del agua en el Acuífero Inferior son representativas de las áreas de recarga en la vecindad del pueblo de Florida.

7.14.3

Geomorfología

- a. La geomorfología cárstica se caracteriza por el desarrollo de drenajes subterráneos a medida que los cuerpos de agua migran hacia conductos subterráneos. Los rasgos subterráneos del Carso son los sistemas cavernarios de dimensiones variadas, cuyo valor añadido es la presencia de cuerpos de agua. Los rasgos superficiales característicos de la geomorfología en la región norte están dominados por mogotes y valles que son producto de la disolución de las rocas y el depósito de suelos. En estos valles es donde se desarrollan las depresiones y sumideros, los cuales son producto de la erosión de masas rocosas a medida que el agua disuelve la roca por las fracturas existentes. La infiltración de aguas por estas fracturas puede arrastrar tanto el suelo como la vegetación existente.
- b. Los sumideros son estructuras fisiográficas dinámicas morfológicamente definidas como depresiones topográficas naturales de forma usualmente circular con diámetro y profundidad variable que se encuentran en las fisiografías cársticas. En cuanto a los valores de los sumideros, su mayor función hidrológica es que sirven como área de captación natural hacia donde fluyen las escorrentías pluviales. Una vez las aguas fluyen hacia el sumidero, no son descargadas mediante drenaje externo, sino que drenan lentamente a través de la capa de suelo o rápidamente por una cavidad rocosa conocida como la boca del sumidero, o pueden quedar estancadas hasta disiparse mediante procesos de evapotranspiración. La infiltración de escorrentías hacia el subsuelo constituye la función adicional de los sumideros como puntos de recarga hacia acuíferos y ríos subterráneos. Como valor añadido, algunos sumideros constituyen una entrada vertical a una cueva o sistema cavernario.

También los sumideros tienen valor ecológico, ya que forman parte de los ecosistemas presentes en las áreas cársticas de Puerto Rico.

- c. La protección de los sumideros y su correspondiente zona de amortiguamiento promueve la conservación de sus funciones hidrológicas y ecológicas, además que minimiza los riesgos y amenazas asociadas con el desarrollo en o cerca de estos rasgos topográficos.

7.14.3.1 Tipos de Depresiones

- a. Los sumideros son depresiones cerradas los cuales, comúnmente, tienen paredes con ángulos de reposo entre 20° y 30°, aunque otros pueden tener ángulos más pequeños. Estas depresiones son el resultado de la erosión e intemperización en la zona cárstica. A medida que el agua superficial pasa a través de fracturas o sumideros hacia las aguas subterráneas, disuelve la roca y arrastra el suelo y la vegetación.
- b. La Tabla 7.1 describe las cinco (5) expresiones de sumideros, las cuales se utilizarán como criterio para describir sus características y posibles procesos de disolución que deben ser tomados en consideración en el diseño del desarrollo. La Figura 7.4 muestra una representación gráfica de los cinco (5) tipos de depresiones, según descrita en la Tabla 7.1.

SECCIÓN 7.15 APÉNDICE 7.B – INFORMACIÓN SOBRE MÉTODOS NO INVASIVOS

- a. **Cámara de Circuito Cerrado:** equipo utilizado para documentar sistemas cavernosos con entrada superficial (sumidero con entrada visible). La cámara tiene rotación de 360 grados lo que permite una documentación detallada del sistema evaluado. Hay un contraste significativo en el video de un sistema antes y luego de una descarga de aguas pluviales.
- b. **Magnetómetro (“Magnetometer”):** equipo utilizado para detectar la presencia de materiales ferrosos en el subsuelo. La importancia de su uso en las áreas cársticas varía, pero es útil para ubicar áreas donde sumideros han sido utilizados como fosas de desperdicios sólidos y luego han sido sellados.
- c. **El geo-radar o radar de subsuelo, radar de penetración en tierra (“Ground Penetrating Radar”, o GPR, por sus siglas en inglés):** técnica de teledetección cercana y prospección basada en la emisión de un pulso electromagnético de corta duración, su alcance varía dependiendo de la frecuencia nominal y antena utilizada. El equipo permite la obtención de imágenes de radar (“radargramas”) y pseudo-imágenes que se aproximan a una sección transversal del subsuelo bajo la línea de desplazamiento de las antenas. Asiste en la definición de áreas de suelo/roca y áreas de cavidad.

Tabla 7.1. Descripción de expresiones de sumideros para utilizar durante la preevaluación de diseños.

Expresiones de sumideros	Descripción
Depresiones por disolución	Representados por depresiones tipo embudo con paredes de pendiente cómoda y uniforme.
Depresiones de subsidencia	El mecanismo es similar al anterior, pero existe una capa de suelo sobre la formación caliza. Las escorrentías que infiltran el suelo arrastran partículas de suelo durante periodos prolongados, hasta que se hace visible el hundimiento del suelo, creándose una depresión con pendientes suaves.
Depresiones de colapso	Representado por depresiones con paredes de pendientes verticales.
Depresiones de colapso de Carso adyacente	Parecida a la anterior, se diferencia en que es el producto de la disolución de Carso que se encuentra bajo un material insoluble.
Depresiones entre crestas	Es una progresión de varias depresiones que se encuentran dentro de un área como, por ejemplo, donde ubica el radiotelescopio de Arecibo.

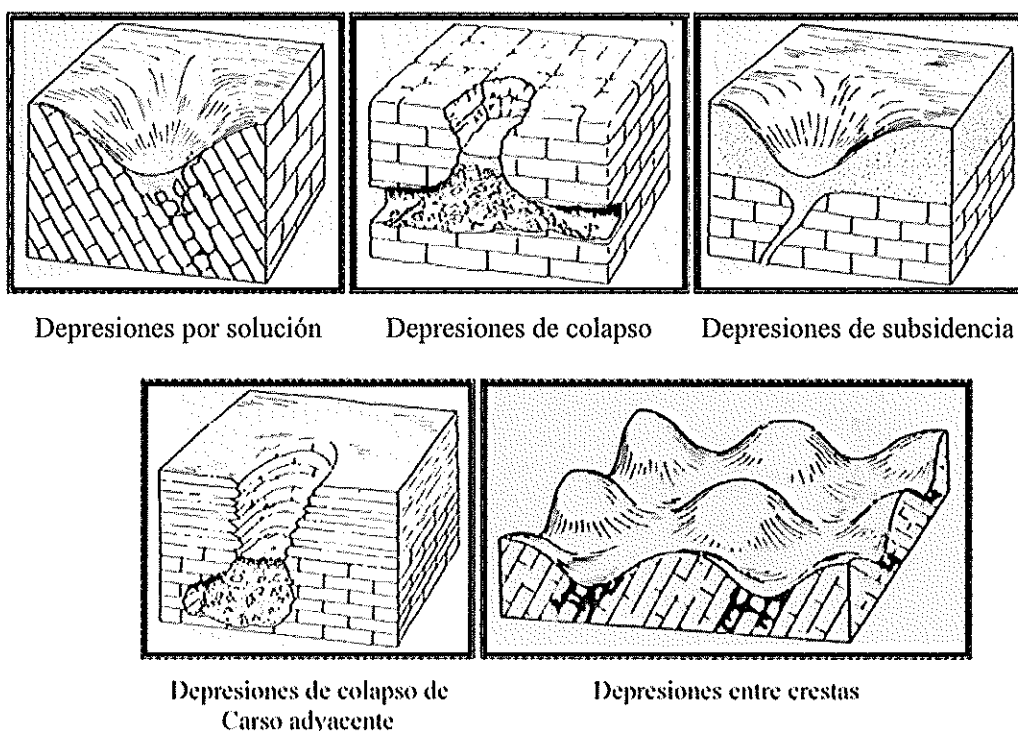


Figura 7.4 Representación Gráfica de los Diferentes Tipos de Depresiones [7].

- d. **Resistividad Eléctrica (“Electrical Resistivity”, o ER, por sus siglas en inglés):** método de estudio del subsuelo mediante la inducción de una corriente medida por medio de electrodos; el voltaje resultante es medido entre dos (2) electrodos. El metro de resistividad calcula la razón entre voltaje/corriente en ohmios. El resultado gráfico en formato vertical/horizontal es expresado en profundidad (metros o pies) versus distancia horizontal en metros o pies, donde los colores representan la variación de la resistividad calculada o medida. Los colores presentados varían según los Ohm-m de la resistividad encontrada. Esto permite ubicar zonas con anomalías que, por ende, son áreas donde ubican zonas con potencial de ser cavernosas.
- e. **Refracción Sísmica (“Seismic Refraction”, o SR, por sus siglas en inglés):** es uno de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada que mide el tiempo de llegada o de propagación de las ondas longitudinales (ondas *P*) y con ello es posible establecer un perfil del subsuelo. También es empleado en geotecnia para estudiar el terreno debido a su rapidez, economía y versatilidad.
- f. **Perfil de Sismicidad Vertical (“Vertical Seismicity Profile” o VSP, por sus siglas en inglés):** estudio de una serie de mediciones de la resistividad aparente efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de corriente. En las configuraciones de adquisición, dos electrodos se usan para energizar el suelo y dos electrodos para medir la diferencia de potencial. La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determinan el valor de la resistividad aparente en el sitio. Este valor de resistividad aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación entre los electrodos, su configuración, y de las secuencias electro-estratigráficas investigadas. Estos factores y los objetivos de investigación determinan la programación de la longitud o extensión del sondeo.
- g. **Microgravedad:** utilizado para detectar anomalías en la densidad de la superficie cercana, como las asociadas con sumideros con monitoreo repetido que permite cuantificar los cambios cercanos a la superficie sobre estos.

Los resultados gráficos y los valores eléctricos de los suelos, roca y agua son utilizados en la interpretación de las condiciones del subsuelo.

CAPÍTULO 8 MEJORAS A SISTEMAS PLUVIALES EXISTENTES Y ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN

SECCIÓN 8.1 PROPÓSITO

- a. En este capítulo se presentan técnicas y procedimientos para la rehabilitación y mejoras de sistemas de alcantarillado pluvial. Se provee un resumen de los pasos a seguir sobre el proceso de evaluación y rehabilitación de sistemas de alcantarillado pluvial a través de inspección y evaluación de sistemas existentes para la selección de alternativa.

SECCIÓN 8.2 DISPOSICIONES GENERALES

- a. A partir de la fecha de vigencia de este reglamento, la JP adoptará la implementación de técnicas de rehabilitación del sistema de alcantarillado pluvial como una práctica de manejo y control de la escorrentía pluvial.
- b. La implementación de las técnicas de rehabilitación tendrá como objetivo; modernizar los sistemas de alcantarillado pluvial existente, corregir deficiencias de diseño, recuperar o aumentar la capacidad hidráulica del sistema, mitigar el incremento de las escorrentías, y mejorar el rendimiento de recarga e infiltración en el suelo.
- c. Se permitirá la implementación de prácticas de Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés), nuevas tecnologías y prácticas no-estructurales.
- d. Se hace diferencia entre rehabilitación del sistema de alcantarillado pluvial y reparación de un componente del sistema. La reparación de componente(s) de un sistema pluvial consistirá de reemplazo de tuberías o cajas de drenaje de igual dimensión y material que el componente dañado y la reparación “in-situ” de cualquier otro componente pluvial del sistema mayor o menor.
- e. La reparación de componentes de un sistema no requerirá cumplir con las disposiciones de la Sección 8.3 de este reglamento, excepto en aquellos casos donde el componente del sistema pluvial esté instalado justo antes de un cuerpo de agua receptor o donde la actividad de reparación afecte un área donde el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) tenga jurisdicción. En este último caso se requerirá el endoso del DRNA.
- f. Por rehabilitación de un sistema de alcantarillado pluvial o algún componente de este sistema se deberá entender como el conjunto de métodos que tiene por finalidad la recuperación de la actividad o función perdida o disminuida por el tiempo, desgaste o colapso. Tiene como objetivo modernizar los sistemas de alcantarillado pluvial existente, corregir deficiencias de diseño, recuperar o aumentar la capacidad hidráulica del sistema, mitigar el incremento de las escorrentías, y mejorar el rendimiento de recarga e infiltración en el suelo.

- g. Se requerirá la presentación de un informe técnico y endoso del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) solo en aquellos caso donde la rehabilitación de componentes de un sistema pluvial esté instalado justo antes de un cuerpo de agua receptor o donde la actividad de rehabilitación afecte un área donde el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) tenga jurisdicción.

SECCIÓN 8.3 CONSIDERACIONES PARA LA REHABILITACIÓN DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

- a. En este reglamento, las técnicas de rehabilitación se consideran como primera alternativa en casos donde el sistema pluvial presenta daños estructurales o desgaste en sus elementos.
- b. La rehabilitación del sistema pluvial debe cumplir con los criterios de diseño descritos en los Capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 de este reglamento, entre los cuales se destacan lo siguiente.
 - 1. Área de drenaje del sistema pluvial.
 - 2. Periodo de retorno de la lluvia de diseño.
 - 3. Intensidad de lluvia.
 - 4. Número de Curva.
 - 5. Tiempo de concentración.
 - 6. Diámetro mínimo.
 - 7. Pendientes y velocidades mínimas o máximas.
 - 8. Material de la estructura de drenaje (arcilla, hormigón, policloruro de vinilo (PVC), etc.).
 - 9. Profundidad mínima de corona de los tubos de la obra de drenaje.
 - 10. Pendientes de taludes y fondo de las charcas.
 - 11. Estructuras de salida y disipadores de energía.

8.3.1 Auditoria del Sistema Pluvial Existente

- a. En todo proyecto, para definir el alcance y magnitud de la rehabilitación del sistema de alcantarillado pluvial, se requiere información tal como; localización geográfica, vías de comunicación, servicios y utilidades públicas. Esta información se presentará en planos o informes como sigue.
 - 1. Plano de mensura y topografía del proyecto donde se identifique colindantes y servidumbres existentes.

2. Identificación de áreas de aportación de escorrentía pluvial externa al segmento del sistema de alcantarillado pluvial del proyecto con uso de cuadrángulo topográfico, imágenes satelitales y/o fotos aéreas.
3. Plano con información del área circundante al lugar del proyecto que incluya infraestructura vial (calles, caminos, avenidas, carreteras, aceras) existente, áreas verdes y uso de suelo.
4. Plano de la red del sistema de alcantarillado existente con información sobre ubicación de los sistemas mayor y menor, características de tuberías (material, diámetro, longitud, invertidas y pendiente) y estructuras especiales (estaciones de bomba, canales, sifones, alcantarillas, charcas y tanques de detención y charcas de retención, entre otros).
5. Plano geológico que indique tipo del suelo mostrando la ubicación de barrenos de exploración con información tal como; perfil del suelo, características y profundidad del manto freático.
6. Plano que indique localización de instalaciones subterráneas (agua potable, gas, comunicaciones, electricidad, etc.).
7. Datos climatológicos – Información de profundidad de precipitación (lluvia) de estaciones (pluviómetros) locales y/o cercanos al área del proyecto.
8. Operación del sistema pluvial existente - Información actual del sistema de alcantarillado y problemas de drenaje.

SECCIÓN 8.4 PROCESO DE REHABILITACIÓN

- a. En todo proyecto se requerirá la presentación de un informe técnico que incluya la siguiente información.
 1. En todo proyecto se requerirá la evaluación de capacidad hidráulica del sistema existente.
 2. El proponente deberá presentar por medio de un trabajo de agrimensura información de infraestructura pública y privada cercana al proyecto.
 3. Plano con inventario de mejoras al sistema de alcantarillado pluvial cercana al proyecto.
 4. Informe técnico que incluya resultados de cálculos y simulación hidráulica de la medida de rehabilitación propuesta. Los resultados del modelo matemático deben incluir los escenarios pre- y post-construcción. Los capítulos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 presentan los procedimientos y criterios de diseño para el cálculo hidrológico e hidráulico.
 5. El diseño final con planos de construcción y trámite de permisos.

6. Plan de Operación y Mantenimiento del sistema rehabilitado y existente.

8.4.1

Criterios de Evaluación

- a. El criterio de evaluación tendrá el propósito de seleccionar la técnica de rehabilitación [1]. La selección de la técnica deberá cumplir con la capacidad hidráulica del sistema previo a daño o falla estructural del elemento a rehabilitar. Todo proyecto deberá cumplir con los siguientes criterios.
 1. Superficies desarrolladas – En todo proyecto de rehabilitación se deberá considerar la ubicación de elementos defectuosos, en especial aquellos debajo de carreteras, edificios, utilidades públicas sensibles (p. ej., líneas de gas, agua potable, comunicaciones, electricidad, etc.) y áreas ambientalmente sensibles.
 2. Requisito estructural – La técnica de rehabilitación deberá prevenir falla estructural y considerar la ubicación del manto freático y tipo de suelo.
 3. Requisito de capacidad hidráulica – Todo proyecto debe presentar cálculos de capacidad hidráulica del sistema existente y futuras (p. ej., aumento predecible de área impermeable). Se permitirá aumento en capacidad hidráulica del elemento a rehabilitar para condiciones futuras siempre y cuando la capacidad hidráulica del sistema aguas abajo lo permita.
 4. Configuración de la tubería – En todo proyecto se evaluará la presencia de cambios de dirección para acomodarse a servidumbres irregulares u otras obstrucciones.

SECCIÓN 8.5 TÉCNICAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO (LID) PARA REHABILITACIÓN

- a. Consiste en la implantación de técnicas dirigidas hacia la recuperación del comportamiento hidrológico de las cuencas previo a su urbanización maximizando la infiltración del subsuelo con el propósito de lograr un manejo integrado de las aguas pluviales en el entorno urbano [2].

8.5.1

Disposiciones Generales

- a. El propósito de uso de estas técnicas será aliviar la carga hidráulica en sistemas existentes en práctica de rehabilitación en casos donde el sistema pluvial conservará su integridad estructural.
- b. El objetivo de estas técnicas es reducir el volumen de escorrentía y caudal que llega al sistema pluvial.
- c. En todo proyecto previo a la implementación de cualquier técnica que se proponga deberá ser evaluada y ratificada por calculo y simulación como parte integral del sistema pluvial.

8.5.2

Técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto

- a. La Junta de Planificación acepta el uso de medidas de Desarrollo de Bajo Impacto para ser utilizadas en combinación, como complemento, con otras técnicas de rehabilitación de tuberías. Para propósito de este reglamento, el uso de las prácticas Desarrollo de Bajo Impacto en el diseño de sistemas de alcantarillado pluvial no tendrá requerimiento de cumplimiento. Las prácticas de Desarrollo de Bajo Impacto aceptables para propósitos de rehabilitación son las siguientes.
 1. Uso de áreas con vegetación, como la hierba, plantas en tiestos y jardineras pluviales.
 2. Uso de superficies porosas, como ladrillos, grava, o pavimento permeable, en lugar de asfalto u hormigón para los senderos, patios, caminos, calles y áreas de estacionamiento, entre otros.
 3. Siembra de árboles o conservación de los existentes.
 4. Cosecha de lluvia – Reducción del volumen de escorrentía pluvial capturando parte de la lluvia y almacenándola para otros usos como el riego de plantas y áreas verdes, limpieza de superficies, etc.
 5. Cambio de la pendiente superficial del suelo, cuando sea factible.
 6. Planificación de impacto en la superficie de suelo - Consiste en remover capas de suelo y reemplazarlo con suelos menos impermeables permitiendo la recarga de agua en suelos más permeables.
 7. Uso de charcas de retención y detención.
 8. Uso de zanjas con cubierta vegetal.
- b. Las aplicaciones y diseño de las diferentes técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto se describen en detalles en el Capítulo 10.

SECCIÓN 8.6 REFERENCIAS

- [1] A. W. Stocking, «Criteria for choosing appropriate large-diameter sewer rehabilitation solutions,» ASCE, 2013.
- [2] Department of Natural Resources, «Low-Impact Development Hydrology Analysis,» Prince George's County, Maryland, 1999.
- [3] Prinsco, Inc., «Technical Note - Sliplining with Corrugated HDPE Pipe,» Prinsco, Inc., June 2013. [En línea]. Available: <https://www.prinsco.com/wp-content/uploads/2014/06/Sliplining-with-Corrugated-HDPE-Pipe-Tech-Note3.pdf>. [Último acceso: October 2019].

SECCIÓN 8.7 APÉNDICE 8.A - TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN DE TUBERÍAS

- a. A continuación, se presentan cuatro (4) técnicas de rehabilitación para tuberías de alcantarillado pluvial de mayor uso en la práctica actual [1].

8.7.1 Excavación y reemplazo (Dig-and-Replace)

- a. Consiste en la instalación, o reemplazo, de tubería por medio de excavación de zanja. Esta técnica es adecuada para áreas no desarrolladas.
1. Ventaja – el reemplazo puede ser rápido y rentable con opción de aumentar el tamaño de la tubería para aumentar la capacidad de flujo.
 2. Desventaja – posible interrupción temporal de tráfico y actividad económica cercana, posible impacto al medio ambiente y perturbación de activos subterráneos (líneas eléctricas, agua potable, sanitario, combustible, entre otros).



Figura 8.1. Ejemplo de la técnica de rehabilitación conocida como “excavación y reemplazo”.

8.7.2 Revestimientos de Tubería Curada en Sitio (CIPP)

- a. CIPP (por sus siglas en inglés) consiste en la instalación de tubos saturados de resina en el interior de los tubos existentes, con diámetros entre 0.1 a 2.8 metros (4.0 a 110.0 pulgadas), los cuales se expanden con agua o presión de aire y se curan con calor o luz ultravioleta para que el nuevo tubo se endurezca.
1. Ventaja - rehabilitación de tuberías de menor diámetro y no requiere nuevas zanjas.
 2. Desventaja - riesgo de colapso y falla durante la instalación en tubería de diámetro mayor a 2.8 metros (110.0 pulgadas), costos elevados en la fabricación de revestimientos para tramos largos de tubería de diámetro mayor a 2.8 metros. Este material no se adhiere a la tubería vieja, su uso no representa una reparación estructural,

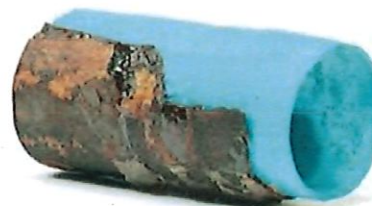


Figura 8.2. Ejemplo de la técnica de rehabilitación conocida como “Revestimientos de Tubería Curada en Sitio”.

tiene limitaciones en su aplicación en segmentos de curvas, condiciones climáticas locales y condiciones del suelo. Se requiere supervisión durante la instalación para reducir riesgo de toxicidad química al ecosistema acuático.

8.7.3

Revestimiento deslizado con tubería de Polietileno de Alta Densidad, PEAD (HDPE) (Sliplining)

a. Consiste en la instalación de una tubería de PEAD en el interior de una tubería defectuosa, como se muestra en las Figuras 3 [3].

1. Ventaja – no requiere excavación de zanja, el HDPE se considera una solución estructural. Requiere evaluación para su implantación en casos donde las tuberías presentan problemas por deformación o deflexión.
2. Desventaja – reduce la capacidad hidráulica del tramo de sistema pluvial reparado.
3. Criterio de Diseño – mínimo de 10% espacio libre entre el diámetro exterior de la tubería de HDPE y el diámetro interno de la tubería defectuosa.

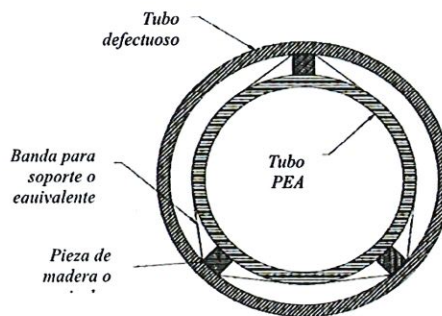


Figura 8.3. Configuración para Tubería PEAD usando la técnica de revestimiento deslizado.

8.7.4

Revestimiento Centrifugado de Concreto (Centrifugally-Cast Concrete Pipe, CCCP)

- a. Consiste en revestimiento de la pared interior del tubo defectuoso mediante la centrifugación de concreto pulverizado semejante a la técnica utilizada en la reparación de pozos. Esta técnica usa un aplicador en forma de rueda giratoria para aplicar capas delgadas de material cementoso en el interior del tubo defectuoso, creando una tubería nueva, estructuralmente sólida e impermeable que se adhiere firmemente a la tubería defectuosa.
1. Ventajas – puede ser aplicado para ser adherido en materiales



Figura 8.4. Revestimiento centrifugado de concreto para reparar tubos pluviales defectuosos. Se muestra el aplicador (spincaster).

tales como: concreto, hierro fundido, acero, ladrillo y arcilla. También funciona con tubería elíptica, rectangular y secciones de tubería con curvas. Es adecuado para tubos grandes de hasta 120 pulgadas.

2. Desventaja – posible reducción de capacidad hidráulica por cambio en rugosidad en superficie de tubería.
3. Criterio de Diseño – Uso en tuberías de 30 a 120 pulgadas de diámetro, tuberías elípticas, entre otras.

CAPÍTULO 9 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO PLUVIAL

SECCIÓN 9.1 PROPÓSITO

- a. Este capítulo presenta los criterios mínimos de Operación y Mantenimiento (O&M) para cada uno de estos componentes del sistema de manejo de escorrentía. Los componentes se dividen en la siguiente manera.
 - 1. Estructuras del Sistema Subterráneo de Drenaje - Tuberías, registros, cajas de uniones, pocetos, entre otros.
 - 2. Estructura del Sistema Superficial de Drenaje - Cunetas, zanjias, canales, entre otros.
 - 3. Estructuras de Control de Escorrentía - Charcas, o tanques, de detención y retención, estructuras de disipación de energía, entre otros.
 - 4. Medidas de Desarrollo de Bajo Impacto - Celdas de bio-retención, jardines pluviales, zanjias vegetadas, cajas jardineras, pavimento permeable, techos verdes, entre otros.

SECCIÓN 9.2 DISPOSICIONES GENERALES

- a. A partir de la fecha de vigencia de este reglamento se requiere junto con los planos de construcción un Plan de O&M del sistema de alcantarillado pluvial.
- b. Todo proyecto nuevo, o rehabilitación de sistema pluvial existente, deberá incluir una programación de inspección y mantenimiento con el objetivo de conservar, reparar, y proveer limpieza periódica del sistema, incluyendo todos sus componentes.
- c. El Plan de O&M será consecuente con la necesidad de reducir los daños por inundaciones y proveerá para la restauración de los componentes del sistema a su condición y funcionalidad original a través de la inspección, mantenimiento y operación de los sistemas de alcantarillado pluvial.
- d. El dueño, en su función como operador (en adelante, operador), del sistema de alcantarillado pluvial hará todo el esfuerzo posible para que el mantenimiento sea proactivo.
- e. En todo proyecto donde la programación y ejecución del mantenimiento resulte en obstrucción, inundación, erosión o fallas estructurales, el operador realizará mantenimiento correctivo, incluido el mantenimiento de emergencia.
- f. Este reglamento requiere el mantenimiento preventivo de carácter proactivo. Este tipo de mantenimiento proveerá un desempeño adecuado del sistema, excepto en aquellos casos donde los problemas de mal funcionamiento y operación sean productos de un diseño defectuoso o de una construcción

inapropiada. El mantenimiento preventivo es programable y sistemático y así se reflejará en el Plan de O&M.

- g. Este reglamento requiere mantenimiento predictivo, también proactivo. Este tipo de mantenimiento requiere que se recolecten y establezcan datos de referencia sobre el desempeño, el monitoreo de los criterios de desempeño durante un período de tiempo y los cambios en el desempeño del sistema para poder predecir las fallas y realizar el mantenimiento de manera planificada y programada.

SECCIÓN 9.3 ETAPAS DE INSPECCIÓN Y ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

- a. Identificación del sistema – Se establecerá la identificación de los componentes del sistema pluvial por medio de los planos de construcción “as built”. En aquellos casos donde el nuevo sistema descargue hacia un sistema existente, se obtendrá el plano de ese sistema, y en ausencia de dicho plano, el operador hará gestiones para producir un plano “as built”. El Plan de O&M incluirá el sistema existente como parte integral del nuevo sistema.
- b. Inspección - Para todos los componentes identificados en el sistema pluvial, se realizarán inspecciones rutinarias. Las inspecciones se llevarán a cabo con personal cualificado y cumpliendo con todas las medidas de seguridad requerida por los organismos pertinentes. Las entidades custodios de estos sistemas desarrollarán listas de cotejo que permita mantener un expediente para cada uno de estos sistemas con el propósito de construir un historial de la continuidad del mantenimiento. El Apéndice 9.A presenta un modelo de lista de cotejo.
- c. Mantenimiento - Para todos los componentes del sistema pluvial, la inspección indicará cuáles componentes necesitan mantenimiento. Las tareas básicas de mantenimiento serán responsabilidad del operador del sistema pluvial. Las acciones de O&M se realizarán por personal debidamente adiestrado y cualificado. El expediente de las actividades de mantenimiento incluirá, como mínimo, la siguiente información; identificación de la estructura o componente, fecha del mantenimiento, descripción de acción correctiva, fotos previa y posterior a la acción de remediación, y un resumen de las partidas de los costos por la realización del mantenimiento. El expediente será custodiado por el propietario o el administrador del sistema pluvial.

SECCIÓN 9.4 ACCIONES PARA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EFICIENTES

- a. La O&M de un sistema de control y manejo de escorrentía pluvial se llevará a cabo en una forma ordenada, lógica, práctica y eficiente.
- b. En todo proyecto cada sistema diseñado en acuerdo a este reglamento incluirá un Plan de O&M que cumpla con los siguientes elementos como mínimo:

1. Enfocará el mantenimiento proactivo en sus modalidades de preventivo y predictivo.
2. Incluirá mantenimiento de emergencia para aquellos casos donde el mantenimiento proactivo no puede evitar o predecir fallas del sistema.
3. Establecerá responsabilidades (ejecución y supervisión) y alcance del plan (tiempo de vida útil, manejo de emergencias, inspecciones, prevención y monitoreo).
4. Incluirá tablas de tiempo (frecuencia de inspecciones), descripción de tareas y una bitácora que permita llevar un registro y seguimiento del cumplimiento del plan (mantenimiento preventivo y correctivo).
5. Incluirá planos y/o esquemáticos que permitan clarificar la toma de mediciones y el cumplimiento de las especificaciones de elementos críticos del sistema. Así como, manuales de operación (cuando apliquen) además de otros requisitos que apliquen según cada caso y que incluyan, pero sin limitarse, a las mejores prácticas de manejo (BMPs por sus siglas en inglés).

SECCIÓN 9.5 SEGURIDAD

- a. En todo proyecto la inspección y mantenimiento de cada uno de los componentes de los sistemas afectan directamente la seguridad del personal asignado.
- b. La responsabilidad sobre el cumplimiento de las medidas de seguridad relacionadas con la construcción, instalación, reparación, alteración, inspección, y operación de equipos recae sobre el operador.
- c. El Plan de O&M tomará en consideración todos los requerimientos y recomendaciones de las agencias que tengan injerencia en seguridad, tanto a nivel local, municipal, estatal como federal.

SECCIÓN 9.6 SISTEMAS SUBTERRÁNEOS DE DRENAJE

- a. Los tubos, registros, cajas de uniones (“Junction box”), pocetos, estructuras de salida y entrada, y otras estructuras subterráneas son componentes del sistema soterrado. La mayoría de estas estructuras se encuentran bajo las superficies de rodaje en carretera y calles, y son diseñadas para capturar, transportar y descargar las escorrentías producidas en las áreas de captación.

9.6.1 Inspección y Mantenimiento de sistemas subterráneos de drenaje

- a. La Tabla 9.1 muestra una descripción general de las actividades de inspección y mantenimiento que se llevarán a cabo en el sistema subterráneo de drenaje. La realización de estas actividades está sujeta al historial de mantenimiento y localización de estos sistemas.

SECCIÓN 9.7 SISTEMA SUPERFICIAL DE DRENAJE

- a. Los canales, zanjas y cunetas son sistemas abiertos localizados a ambos lados de la carretera o en su defecto a un lado, revestidas o no revestidas, los cuales son diseñados para captar, transportar y descargar las escorrentías producidas en las superficies de rodaje en forma adecuada hacia el sistema subterráneo o hacia un punto de drenaje natural.

9.7.1 Inspección y Mantenimiento de sistema superficial de drenaje

- a. La Tabla 9.2 muestra una descripción general de las actividades de inspección y mantenimiento. Las acciones están dirigidas para mantener una capacidad hidráulica óptima de estos sistemas reduciendo la acumulación de desperdicios flotantes y sedimentos.

SECCIÓN 9.8 ESTRUCTURAS DE CONTROL DE ESCORRENTÍA

- a. El funcionamiento a largo plazo de las estructuras de control de escorrentía requiere inspecciones y mantenimiento de rutina, además de acciones correctivas. Estos esfuerzos son responsabilidad de los gobiernos municipales y cuando corresponda, de entidades privadas. En esta sección se describen algunas actividades de inspección y mantenimiento de estas estructuras.

9.8.1 Inspección y Mantenimiento de estructuras de control de escorrentía

- a. La Tabla 9.3 muestra una descripción general de las actividades de inspección y mantenimiento. La frecuencia de las inspecciones dependerá del historial de mantenimiento documentado por el personal encargado o partes interesadas y de la ubicación de las estructuras.

SECCIÓN 9.9 MEDIDAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO

- a. Las medidas de desarrollo de bajo impacto se caracterizan por estar diseñadas para reducir los volúmenes de escorrentía promoviendo o mejorando la infiltración, evapotranspiración, retención, y detención de las escorrentías pluviales a través de sistemas que simulan o recrean procesos naturales.

9.9.1 Sistemas de Biorretención de medidas de desarrollo de bajo impacto

- a. Estos sistemas tienen como objetivo eliminar los contaminantes y sedimentos que son arrastrados por las aguas pluviales, además de almacenar temporalmente en la capa superior del suelo las escorrentías producidas durante eventos de lluvia permitiendo la infiltración gradual de las aguas a través de este.

9.9.1.1 Problemas más importantes en la operación de sistemas de biorretención

- a. Estos sistemas involucran componentes de carácter natural (vegetativo). Las actividades de operación requieren supervisión que incluye el mantenimiento

de una saludable capa natural (vegetación y suelos) y un medio filtrante poroso que mantenga su capacidad de infiltración. Una operación sin la supervisión necesaria compromete los componentes vivos de estos sistemas. Debido a la naturaleza estos sistemas requieren actividades rutinarias de inspección y mantenimiento y aparte, actividades de conservación y limpieza. Se recomienda consultar con profesionales en la conservación y mantenimiento de los componentes vivos de estos sistemas.

9.9.1.2 Actividades de inspección y mantenimiento de sistemas de biorretención

- a. Las actividades de inspección y mantenimiento deberán ser parte del plan de operación y las mismas serán aplicadas en cada caso luego de la inspección. La Tabla 9.4 muestra una descripción general de las actividades de inspección y mantenimiento.

9.9.1.3 Medidas de conservación y limpieza de sistemas de biorretención

- a. Las medidas de conservación y limpieza de los sistemas de bio-retención son parte de las actividades de inspección y mantenimiento. Estas medidas deberán formar parte del Plan de Operación, el cual deberá incluir las tareas que correspondan, sin limitarse a las que se muestran en la Tabla 9.5.

9.9.2 Pavimento Permeable

- a. Los pavimentos permeables permiten escurrimiento de las aguas a través de su estructura con el objetivo de lograr la infiltración del agua en el subsuelo. El diseño de estos sistemas permite la captación temporal de las aguas para su reutilización o desagüe hacia un sistema pluvial. Los pavimentos permeables se emplean en zonas con baja intensidad de tráfico, como calles, estacionamientos para vehículos livianos, entre otros. Estos pavimentos se componen principalmente de mezcla porosa (asfalto y/o hormigón), césped, césped reforzado, gravas, bloques con juntas permeables, bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, entre otros.

9.9.2.1 Problemas de los pavimentos permeables

- a. La baja capacidad para soportar carga, bajo coeficiente de fricción y altos costos de construcción y mantenimiento son los principales problemas de los pavimentos permeables. El taponamiento de las rutas de infiltración con sedimentos inutiliza la operación efectiva de estos sistemas. La implementación racional y diseño adecuado deben estar presentes en el uso de este sistema con el propósito de operar un sistema eficiente acompañado de costos bajos de mantenimiento.

9.9.2.2 Actividades de inspección y mantenimiento del pavimento permeable

- a. Las principales actividades que deben estar incluidas en el plan de operación y la frecuencia con que deben realizarse, sin limitarse a las indicadas, y según aplique en cada caso, se muestran en la Tabla 9.6.

9.9.2.3 Medidas de conservación y limpieza del pavimento permeable

- a. Las medidas de conservación y limpieza de este sistema son parte de las actividades de inspección y mantenimiento, y deberán formar parte del Plan de Operación. Deberá incluir las actividades que correspondan, pero sin limitarse a las tareas que se muestran en la Tabla 9.7.

9.9.3 Cauces Naturalizados

- a. El uso de vegetación y el diseño de la sección de canal para lograr la estabilidad y reducir problemas de erosión de la superficie de suelo entre otras, son medidas consideradas para la creación de cauces naturalizados. El propósito es retardar el flujo para promover la infiltración de las aguas (medida de control de escorrentía) y lograr la biodiversidad en estos sistemas.

9.9.3.1 Problemas en la operación de los cauces naturalizados

- a. La remoción de vegetación invasiva o muerta y sedimentos atrapados son los principales problemas de este sistema. La presencia de ambos conduce a una reducción de la capacidad hidráulica en la sección de canal que trae como consecuencia el aumento en la frecuencia de desborde de agua y problemas de inundación local. El uso de este sistema debe estar acompañado de mantenimiento periódico.

9.9.3.2 Actividades de inspección y mantenimiento de los cauces naturalizados

- a. A continuación, se presentan las principales actividades de inspección y mantenimiento que incluyen acciones de conservación de este sistema. La Tabla 9.8 presenta las actividades y la frecuencia de atención que deben llevar las mismas. Estas actividades deben realizarse, sin limitarse a las indicadas, según aplique en cada caso.

9.9.4 Techos Verdes

- a. Techos verdes, techos vivientes, techos ecológicos, azoteas verdes, o cubiertas ajardinadas son los nombres comúnmente asociados al uso de vegetación en el techo de un edificio, comercio y vivienda. Estos techos son cubiertos parcial o totalmente. Además de vegetación, cuentan con capas de suelos y membranas impermeables, estas últimas sirven para drenaje e irrigación y como barrera para las raíces.

9.9.4.1 Problemas en la operación de los techos verdes

- a. Estos sistemas presentan desventajas asociadas principalmente con el estado de salud de la vegetación. Los desagües pueden obstruirse con regularidad por lo que requieren inspección periódica.

9.9.4.2 Actividades de inspección y mantenimiento de los techos verdes

- a. La Tabla 9.9 presenta las principales actividades de inspección y mantenimiento de este sistema. Estas actividades deben realizarse, sin limitarse a las indicadas y según aplique en cada caso.

9.9.5 Colectores de Aguas de Lluvias

- a. Consiste en el uso de tanque móviles y cisternas diseñadas para coleccionar el agua producida en los techos de edificaciones para uso de lavado de superficies, riego de vegetación, respaldo en la descarga de aguas residuales, y control de esorrentías.

9.9.5.1 Problemas en la operación de los colectores de aguas de lluvias

- a. El principal problema de este sistema es el manejo de los sedimentos acumulados en el interior del tanque y control de vectores.

9.9.5.2 Actividades de inspección y mantenimiento de los colectores de aguas de lluvias

- a. La Tabla 9.10 presenta las principales actividades de inspección y mantenimiento de este sistema. Estas actividades deben realizarse, sin limitarse a las indicadas y según aplique en cada caso.

SECCIÓN 9.10 REFERENCIAS

- [1] C. o. Portland, «ENB-4.01 - Stormwater Management Manual - Revision #3,» Environmental Services City of Portland Clean River Works, City of Portland, Portland, OR, 2004.
- [2] R. A. Claytor y T. R. Schueler, «Design of Stormwater Filtering Systems,» Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD and Chesapeake Research Consortium, Inc., Solomons, MD, 1996.
- [3] Toronto Region Conservation Authority, «Low Impact Development Stormwater Management Manual - Draft,» Toronto and Region Conservation Authority, Ontario, 2009.
- [4] Greater Vancouver Regional District, «Stormwater Source Control Design. Guidelines 2005 – Final Report,» Greater Vancouver Sewerage & Drainage District, Vancouver, BC, 2005.
- [5] E. Diniz, «Porous Pavement Phase 1 – Design and Operational Criteria,» US Environmental Protection Agency, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH, 1980.

- [6] J. Gunderson, «Pervious Pavements – New findings about their functionality and performance in cold climates,» Stormwater, , 2008.
- [7] Urban Drainage and Flood Control District, «Urban Storm Drainage Criteria Manual - Volume 3 – Best Management Practices,» Urban Drainage and Flood Control District, Denver, CO, 2008.
- [8] S. Peck y M. Kuhn, «Design Guidelines for Green Roofs,» Ontario Association of Architects and CMHC, ON, 2003.

SECCIÓN 9.11 TABLAS

Tabla 9.1 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas soterrados.

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Cada tres meses y previo a la temporada de huracanes y después del paso de eventos extremos de lluvia.	• Identificar la presencia de desperdicios sólidos atrapados en rejillas o en el interior del sistema de drenaje. • Identificar la presencia de sedimentos acumulados en las diferentes estructuras.	• Remover los desperdicios sólidos atrapados y disponer de manera adecuada. • Remover los sedimentos y disponer de los mismo de manera adecuada.
Anualmente	• La profundidad del sedimento acumulado no excederá el 20% del diámetro de la tubería y profundidad de registros, cajas de uniones y pocetos (todo tipos). No se permitirá el crecimiento de vegetación en el interior de los componentes del sistema.	• Remover los sedimentos y escombros acumulados, en adición a toda vegetación que haya crecido en el interior del sistema.
	• Identificar las rejillas (parrillas) de poceto que estén deterioradas por la oxidación o deformadas.	• Reemplazar las rejillas.
5 – 7 años	• Identificar los segmentos de tuberías metálicas dañada, abolladas u oxidada, y aquellos elementos contruidos en hormigón que presenten grietas o desplazamientos importantes que permitan el escape del agua.	• Reparar o reemplazar los componentes afectados.

Tabla 9.2 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas superficiales.

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Trimestral	• Identificación presencia de desperdicios sólidos.	• Remoción de basura y escombros para su disposición adecuada.
	• Signos de erosión en pendientes de taludes o potencial de erosión continua además de signos de desprendimiento o asentamiento.	• Eliminar problemas de erosión por medio de la estabilización de pendientes mediante el uso del procedimiento de control de la erosión, por ejemplo: compactación de suelo, siembra y reemplazo de grama, entre otras.
	• Identificar la presencia de maleza o vegetación seca.	• Remover la maleza y sembrar grama según sea necesario y cubrir con mantillo ("mulch") las superficies descubiertas
Anual	• La acumulación de sedimentos no debe exceder el 20% de la profundidad del sistema de drenaje.	• Limpiar todos los sedimentos y escombros del lugar.
	• Identificar la presencia de vegetación (Ej. maleza o árboles jóvenes, raíces) que obstaculicen o reduzcan el libre movimiento del agua a través del sistema de drenaje.	• Remover la vegetación que impida el libre movimiento del agua en el sistema de drenaje. La vegetación herbácea debe dejarse sola.
	• Identificar la presencia de suelo expuesto bajo medidas de control tales como; dique de roca ("check-dam"), colchones de roca (gaviones), "rip-rap", y cubiertas de material sintético ("liners").	• Reemplazar con roca según el estándar de diseño.
	• Identificar la acumulación de agua en los sistemas de drenaje.	• Evaluar si la pendiente de la estructura de drenaje cumple en producir la velocidad mínima para el flujo de diseño. En el caso de no cumplir se llevarán a cabo acciones para mejorar el drenaje, considerando la reconstrucción del sistema de ser necesario.

Tabla 9.3 Actividades de inspección y mantenimiento para estructuras de control de escorrentía.

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Después de cada evento de lluvia significativo	• Inspección por acumulación de sedimentos, objetos y escombros.	• Remover el exceso de sedimentos. Remover escombros y objetos arrastrados hacia estas estructuras.
	• Inspeccionar estructuras de entradas y salidas por obstrucciones e integridad estructural.	• Remover obstrucciones y reparar estructuras dañadas.
Anual	• Identificación de plantas invasoras y de humedal en estructuras de retención.	• Remover las plantas invasoras y de humedal.
	• Inspeccionar crecimiento excesivo de vegetación.	• La vegetación con altura mayor al 50% de la profundidad del agua deberá ser podada.
	• Inspección por acumulación de sedimentos, objetos y escombros.	• Remover el exceso de sedimentos. Remover escombros y objetos arrastrados hacia estas estructuras.
	• Inspección de estructuras de entradas y salidas.	• Reparar las estructuras que lo necesiten.
	• Identificación de presencia de agua permanente y vectores en estructuras no diseñadas con ese propósito.	• Identificar razón para la acumulación de agua y corregir adecuadamente.
	• Identificar problemas de erosión en la base y pendiente de los taludes.	• Reparación de diques y pendientes de taludes laterales.
	• Identificar rótulos, cerraduras y otros artículos de seguridad rotos.	• Reemplazar, reparar o instalar los artículos de seguridad requeridos.
5 años	• Completar todas las acciones de inspección anual.	• Corregir, reparar, reemplazar según sea requerido.
	• Monitorear la presencia de sedimentos acumulados en el área de almacenaje.	• Remover los sedimentos acumulados ante la pérdida aproximada del 40% del volumen de almacenaje.
20 años	• Inspeccionar las tuberías y desagües pluviales con uso de cámaras.	• Reparar según sea requerido.

Tabla 9.4 Actividades de inspección y mantenimiento para sistemas de bio-retención [1] [2] [3] [4].

Sistema	Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
d	Semanal	• Inspección de condición de humedad del suelo.	• Riego
a, b, c	Mensual	• Identificación de presencia de sedimentos en calles.	• Limpieza de calles con uso de equipo mecánico y/o personal cualificado.
d	Trimestral	• Inspección de funcionamiento (obstrucciones, fugas y erosión) y estabilidad estructural.	• Reparación del sistema o remplazo de ser necesario.
a, b, c	Trimestral	• Inspeccionar estado del sistema por presencia de sedimentos, erosión, salud de las plantas y mantillo (“mulch”).	• Remoción de sedimentos acumulados, reparación del mantillo y remplazo de plantas.
a, b, c	Bianual	• Pruebas al lecho filtrante: Prueba de Infiltración (tiempo vaciado < 36 – 48hrs).	• Acondicionar el suelo para cumplir con prueba de infiltración con uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.
d	Anual	• Prueba de Infiltración medios filtrantes. • Inspección de salud y densidad de vegetación.	• Acondicionar el suelo para cumplir con prueba de infiltración. • Remoción y remplazo de plantas.

a = Celdas Bio-retención

b = Jardines Pluviales

c = Zanjas Vegetadas

d = Cajas Jardineras

Tabla 9.5 Actividades de conservación y limpieza para sistemas de bio-retención [1] [2] [3] [4].

Sistema	Frecuencia	Actividad
a, b, c, d	Mensual	Control de maleza y arbustos
a, b, c	Mensual	Recorte de grama y hierba, longitud mínima (50-250 mm) no más corto que la profundidad máxima del flujo
a, b, c	Bimensual	Eliminación de basura y escombros en parrillas, pocetos y puntos de entrada, de descarga y rebalse.
a, b, c	Bianual, previo a las pruebas de infiltración	Rastrillado de superficie del suelo
a, b, c	Anualmente	Poda de vegetación cuando esto limita el acceso y operación.
a, b, c, d	Anualmente o cuando la profundidad del sedimento >100 mm	Remoción de arena y sedimentos en la superficie
a, b, c, e	Anualmente	Lavado (“flush”) drenaje subterráneo (subdrenaje)
a, b, c, e	Anualmente	Reparación de erosión del suelo, mantillo (“mulch”) y/o “riprap”
d	Anualmente	Revisión y mantenimiento del sistema de rebalse
a, b, c, d	Según inspección (1 a 10 años)	Reposición de pasto/vegetación en pobre condición o muerta (>10% pasto/vegetación afectada)
a, b, c, e	Según inspección (1 a 3 años)	Reposición o reemplazo de mantillo (“mulch”)
a, b, c, e	Cuando prueba de infiltración no cumpla con las especificaciones mínimas de diseño	Reemplazo de capa filtrante o grava
a, b, c, e	Cuando el lavado (“flush”) indique taponamiento irreparable	Reemplazo de drenaje subterráneo

a = Celdas Bio-retención

b = Jardines Pluviales

c = Zanjas Vegetadas

d = Cajas Jardineras (aplica tanto a jardineras confinadas y jardineras con drenaje)

e = Cajas Jardineras (aplica solo a jardineras con drenaje)

Tabla 9.6 Actividades de inspección y mantenimiento para pavimentos permeables [1] [5] [6].

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Mensual	• Identificar las superficies permeables obstruidas o saturadas con sedimento.	• Barrido de calles con herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.
Semestral	• Identificar los adoquines rotos, asfalto/hormigón suelto. • Identificar presencia de sedimentos acumulados en drenaje subterráneo.	• Reparación de superficie y/o remplazo de piezas dañadas. • Lavado a presión (“flush”) de drenaje subterráneo.
Bianual	• Realizar pruebas de infiltración.	• Acondicionar el suelo para cumplir con prueba de infiltración con uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado. • Reemplazo de grava para eliminar sedimentos. • Reemplazo de drenaje subterráneo de ser necesario.

Tabla 9.7 Actividades de conservación y limpieza para pavimentos permeables [1] [5] [6].

Frecuencia	Actividad
Mensual	Recortar grama (longitud >10 cm) y superficies vegetadas.
Trimestral	Mantenimiento para evitar especies invasoras.
Trimestral	Remoción de basura, hojas, escombros y maleza.
Anualmente	Mantenimiento de vegetación y jardines cercanos para evitar la acumulación de ramas, palos y corteza vegetal.
Periodo (1-10 años)	Reemplazo de capa de drenaje de grava.
Periodo (>10 años)	Reemplazo de grama/plantas en superficies estructurales vegetadas (insalubres o muertas >10%).

Tabla 9.8 Actividades de inspección y mantenimiento para cauces naturalizados [7].

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Mensual	• Identificar presencia de vegetación invasiva. • Identificar estado de gramas y pastos.	• Remoción de vegetación con uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado. • Recortar grama/pastos. Longitud mínima (100-250 mm) no más corto que la profundidad máxima del flujo de diseño.
Semestral	• Identificar presencia de sedimentación y erosión. • Estado de salud de la vegetación y del suelo. • Identificación presencia de sedimentos acumulados en calles y avenidas.	• Realizar (localizar la fuente) acciones correctivas para atender problema de erosión y sedimentación. • Remoción y/o remplazo de la vegetación. Realizar acciones de mejora a condición del suelo. • Barrido de calles con herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.
Trimestral	• Identificar la presencia de desperdicios sólidos y escombros en las entradas de flujo en canales.	• Remoción por medio del uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.
Anual	• Identificación de vegetación invasiva, desperdicios sólidos y escombros acumulados. • Identificación de sedimentos acumulados (profundidad de sedimento > 100 mm). • Identificar suelos erosionados en “rip-rap” y taludes del canal	• Remoción por medio del uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado. • Realizar acciones correctivas, reparaciones o mantenimiento en la fuente identificada por medio del uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado. • Realizar acciones correctivas por medio del uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.
Periodo (1-3 años)	• Identificar condición de cubierta de suelo.	• Reponer o reemplazar el mantillo (“mulch”).
Periodo (1-10 años)	• Identificar estado de salud de vegetación.	• Reponer o reemplazar Plantas/pastos (insalubres o muertas >10%).
Periodo (1-20 años)	• Realizar pruebas de infiltración.	• Acondicionar el suelo para cumplir con prueba de infiltración con uso de herramientas y/o equipo mecánico realizado por personal cualificado.

Tabla 9.9 Actividades de inspección y mantenimiento para techos verdes [1] [8] [4].

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Según sea necesario.	• Identificar estado de salud de plantas y suelo.	• Aplicación de riego a plantas y fertilizantes al suelo.
Mensual	• Inspección de la salud de las plantas. • Erosión del suelo, condición de deterioro de la capa vegetal. • Inspeccionar desagües.	• Eliminación y deshierbe y sustituir vegetación insalubre/muerta. • Reemplazo de suelos erosionados y mantillo (“mulch”). • Destapar y proteger los desagües.
Semestral	• Pruebas de fugas e inspección de seguridad.	• Reparación de membranas del techo y fugas detectadas.
Anual	• Identificación de escombros, pruebas de infiltración y condición de drenaje de techo. • Inspección de membrana de impermeable.	• Remoción de escombros y acondicionar los suelos para mejorar infiltración y reparar la salida del drenaje de techo. • Reparación y/o reemplazo.

Tabla 9.10 Actividades de inspección y mantenimiento – Colector de agua de lluvia [1].

Frecuencia	Inspección	Mantenimiento
Trimestral	• Inspeccionar los tanques, cisternas, tuberías y canaletas del techo por obstrucciones. • Inspección de bombas y búsqueda de fugas.	• Remoción de sedimentos, material vegetativo y limpieza. • Reparación y/o reemplazo.
Semi anual	• Presencia de hongos y material vegetativo en el sistema. • Presencia de sedimentos acumulados.	• Lavado “flush” de tuberías de entrada y salida y eliminación del crecimiento vegetal. • Vaciado de cisterna y limpieza.
Anual	• Filtros.	• Reemplazo (según aplique a cada caso).
Periodo (15 – 30 años)	• Cisterna y tuberías.	• Reemplazo (según aplique a cada caso).

SECCIÓN 9.12 APÉNDICE 9.A – EJEMPLO DE LISTA DE COTEJO.

INSPECCIÓN DEL SISTEMA PLUVIAL

Nombre: _____
 Fecha: _____
 Hora: _____
 Localización (Coordenadas): Lat. _____ Long. _____

LISTA DE COTEJO

TIPO DE SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS	Semanal				Mensual				Trimestral				Semestral				Anual				Período (1-10 años)				Período (10-20 años)				Período (20-40 años)			
		Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción	Presencia	Frecuencia	Gravedad	Acción				
Sistema Subterráneo de Drenaje	Presencia de Desperdicios sólidos atrapados en rejillas o en el interior del sistema de drenaje Presencia de Sedimentos acumulados y escombros Presencia de Vegetación																																
Sistema Superficial de Drenaje	Desperdicios sólidos Erosión en pendientes de taludes o potencial de erosión Desprendimiento o asentamiento Presencia de maleza o vegetación seca																																
Estructuras Control de Escorrentía	Presencia de plantas invasoras y de humedal Condición física de orificios y tubos de salida Presencia de agua permanente y mosquitos Fricción en la base y pendiente de los taludes Rótulos, cerraduras y otros artefactos de seguridad rotos Presencia de sedimentos acumulados en el Área de almacenaje Inspeccionar las tuberías y desagües pluviales con uso de cámaras																																
Sistemas de Bio-Retención	Presencia de sedimentos en calles Estado del sistema (presencia de sedimentos, erosión, salud de las plantas y cubierta (Mulch)) Pruebas al techo filtrante Condición de humedad del suelo Funcionamiento (obstrucciones, fugas y erosión) y estabilidad estructural Salud y densidad de vegetación																																
Pavimento Permeable	Presencia de superficies permeables obstruidas o saturadas con sedimento Presencia de adoquines rotos, asfalto/hormigón suelto Presencia de sedimentos acumulados en drenaje subterráneo Realizar pruebas de infiltración Presencia de vegetación (maleza y gramíneas) y especies invasoras Presencia de basura, escombros y desperdicios sólidos Capa de grava																																
Cauce Naturalizados	Presencia de sedimentación acumulada en calles y avenidas (localizar la fuente) y erosión Estado de salud de la vegetación y del suelo (gramíneas y pastos) Presencia de sedimentos acumulados en calles y avenidas Presencia de vegetación invasiva (Ej. arbustos y maleza) Presencia de desperdicios sólidos y escombros acumulados en las entradas de flujo en canales Suelos erosionados, rip-rap y taludes del canal Condición de cubierta de suelo Realizar pruebas de infiltración																																
Techos Verdes	Estado de salud de plantas y suelo Erosión del suelo Pruebas de fugas e inspección de seguridad Presencia de escombros, pruebas de infiltración y condición de drenaje de techo Condición de la membrana impermeable																																
Colector de Agua de Lluvia	Condición de los Filtros Condición de los tanques, cisternas, tuberías y canaletas del techo, obstrucciones Bombas en busca de fugas Presencia de hongos y material vegetativo en el sistema Presencia de sedimentos acumulados																																

Observaciones y Comentarios:

SISTEMAS:
 Sistema Subterráneo de Drenaje: Tubos, registros, cajas de uniones ("junction box"), poceros y otros son partes del sistema soterrado localizado principalmente bajo las superficies de rodaje de carretera.
 Sistema Superficial de Drenaje: Canales, zanjas y cunetas son sistemas abiertos localizados a ambos lados de la carretera o en su defecto, a un lado, revestidas o no revestidas.
 Estructuras Control de Escorrentía: Charcas de retención, charcas de detención y tanques soterrados.
 Sistemas de Bio-Retención: Celdas Bio-retención, Jardines Pluviales, Zanjas Vegetadas y Cajas Jardineras.
 Pavimento Permeable: Pavimentos compuestos principalmente de mezcla porosa (asfalto y/o hormigón), césped, césped reforzado, gravas, bloques con juntas permeables, bloques impermeables con huecos rellenos de césped o grava, entre otros.
 Cauce Naturalizados: Canales contruidos artificialmente y cubiertos de vegetación.
 Techos Verdes: Techos cubiertos parcial o totalmente de vegetación que cuentan con capas de suelos y membrana impermeable, esta última sirve para drenaje e irrigación y como barrera para las raíces.
 Colector de Agua de Lluvia: Tanques móviles y cisternas diseñados para coleccionar el agua de lluvia proveniente de los techos de edificaciones.

CAPÍTULO 10 GUÍA PARA EL DISEÑO DE MEDIDAS DE DESARROLLO DE BAJO IMPACTO

SECCIÓN 10.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta los conceptos del Desarrollo de Bajo Impacto. *Este reglamento no requiere la incorporación y el uso de estas técnicas en el diseño de sistemas de manejo de aguas de escorrentía pluvial, pero estimula el uso de estas como un mecanismo de reducción de volumen, disminución de magnitudes de caudales y aumento en el tiempo de concentración.* Por lo tanto, este capítulo se debe considerar como una guía para el uso y diseño de medidas de Desarrollo de Bajo Impacto en la planificación del uso de espacios en desarrollos urbanos y en la práctica de ingeniería en el diseño de sistemas de drenaje pluvial. Aquí se ofrecen recomendaciones y criterios en el diseño de varias de estas prácticas.

La expresión *Desarrollo de Bajo Impacto* (“Low Impact Development” o LID, por sus siglas en inglés) se refiere a una serie de sistemas, estructuras y prácticas de manejo de las escorrentías de aguas pluviales con el propósito de reducir su volumen y evitar el deterioro de la calidad del agua. Aunque inevitablemente el uso de estas prácticas, en un grado mayor o menor, podría mejorar la calidad de las aguas pluviales, el concepto descrito en este Capítulo se enfoca primordialmente en la reducción del volumen de escorrentías y no en la conservación de la calidad del agua. La intención de las prácticas LID es conservar el balance hídrico natural del lugar mediante el uso de planificación y diseño de la distribución de espacios integrando medidas de control de escorrentía. Estos sistemas y prácticas usan, o imitan, los procesos naturales que promueven la infiltración, evapotranspiración, o manejo de escorrentías de aguas pluviales para asegurar la retención, detención y reducción del volumen de estas escorrentías. El LID emplea estos principios tratando de recrear las características del paisaje natural, minimizando la impermeabilidad del lugar para crear un drenaje funcional y atractivo que considere las aguas pluviales como un recurso en lugar de un producto de desecho [1]. El LID se caracteriza por la utilización de dispositivos de control de escorrentías a menor escala, tales como estanques de biorretención, jardines pluviales, pavimentos permeables, techos verdes y zanjas vegetadas, entre otros, ubicados en o cerca de la fuente de escorrentía. La Figura 10.1 muestra algunos ejemplos de prácticas LID.

En las publicaciones sobre este tema se encontrarán diferentes términos para describir estas prácticas, según el propósito predeterminado y el país de origen. Por ejemplo, Infraestructura Verde (GI, por sus siglas en inglés), no solo hace referencia al manejo, conservación y protección de la calidad de las aguas pluviales, sino que además incorpora el manejo, conservación y protección de la calidad del aire y energía en el diseño de las estructuras (término adoptado por la USEPA [1]). La Sección 502 de la Ley de Aguas Limpias, del Congreso de Estados Unidos, define el término “infraestructura verde” como “...la gama de medidas que utilizan sistemas de plantas o suelo, pavimento permeable u otras superficies o sustratos permeables, recolección y reutilización de aguas pluviales, o paisajismo para almacenar, infiltrar o evapotranspirar aguas pluviales y reducir los flujos hacia los sistemas de alcantarillado pluvial o aguas superficiales” (traducción provista por los autores) [2]. Solamente bajo esta definición en EE. UU. los términos LID y GI son equivalentes, pero en la práctica

general en otros países no lo son. Gran Bretaña adoptó el término Técnicas de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés). En Australia, se desarrollaron políticas similares bajo la filosofía del Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés). Los componentes que los promotores de las medidas consideren necesarios varían entre las comunidades y cada una elige los énfasis apropiados para sus cuencas hidrográficas, infraestructura, clima, ciclo hidrológico local y expectativas sociales. Para todo propósito de estas guías, se adoptan los términos “Desarrollo de Bajo Impacto” y las siglas “LID” como su acrónimo.



Figura 10.1 Prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID): a) Jardín pluvial; b) Estanque de biorretención; c) Zanja vegetada; d) Techo verde; e) Pavimento permeable.

SECCIÓN 10.2 PLANIFICACIÓN PARA DISEÑO DE PRÁCTICAS DE BAJO IMPACTO

Las prácticas LID a ser utilizadas se establecerán durante la planificación del proyecto. Se considerará la ubicación de los diferentes elementos de la actividad o estructuras LID, de tal manera que los propósitos descritos anteriormente se cumplan. El proceso de planificación es de suma importancia por lo que a continuación se presentan algunos aspectos generales a ser considerados en este proceso.

10.2.1 Consideraciones en el Diseño del Sistema Mayor y Menor para incluir Prácticas de Bajo Impacto (LID)

El diseño de las prácticas de bajo impacto se refiere al proceso, precedido por un análisis, de la adopción de formas geométricas, dimensiones y materiales. Se recomienda considerar los siguientes aspectos de planificación para residenciales de baja densidad:

- Minimizar las longitudes de calles y caminos.

- Uso de vías, caminos y áreas de estacionamiento con superficies permeable.
- Uso de jardineras pluviales en las áreas de cunetas de las calles para interceptar las escorrentías.
- Uso de jardineras pluviales en las áreas verdes, entre la calle y las aceras, para desviar parte de las escorrentías de las cunetas hacia ellas.
- Preservar, siempre que sea posible, los espacios abiertos, la vegetación nativa y topografía del lugar.
- Conservar el suelo nativo o mejorarlo (en términos hidrológicos) si es necesario.
- Localizar edificios tan cerca de las carreteras de acceso primarias como sea posible.
- Dirigir la escorrentía de las superficies pavimentadas con hormigón o asfalto impermeables hacia prácticas LID o sistemas de detención, cuando sea posible.
- Los sistemas LID no se construirán sobre ningún tipo de infraestructura existente. Antes de realizar excavaciones se debe conocer en detalle la localización de infraestructura soterrada existente.
- El funcionamiento y afinamiento del diseño será realizado mediante simulación computarizada del sistema utilizando las lluvias de diseño, según se establece en el Capítulo 3 de este reglamento.

10.2.2 Selección de Vegetación y Siembra

Muchas prácticas LID utilizan la vegetación como componente fundamental de su diseño. De aquí, la importancia de la selección y mantenimiento de la vegetación. Se recomienda seleccionar vegetación resistente a periodos alternados de humedecimiento (inundación) y secado. La vegetación deberá ser perenne, resistente a la sequía, con poco requerimiento de agua después de que ya se encuentra establecida, con preferencia por suelos que tengan buen drenaje, que no requiera de fertilizantes o herbicidas y con capacidad para sobrevivir en suelos pobres con tendencia a la acidez. La variedad de plantas a utilizarse deberá ser la más amplia posible para favorecer la biodiversidad, dando prioridad a la vegetación nativa. Se recomienda consultar con un especialista en suelos y variedades de siembra y con el documento “Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas” [3].

10.2.3 Drenaje e Infiltración en los Suelos

El drenaje de los suelos es importante para la infiltración y percolación de las aguas descargadas en las prácticas LID. La infiltración es el proceso por el cual las aguas superficiales penetran verticalmente a través del suelo y la tasa de infiltración o capacidad de infiltración es la velocidad o rapidez a la cual la infiltración se lleva a cabo. Por otro lado, la percolación se refiere al movimiento vertical del agua dentro de la matriz del suelo inducido por la gravedad y la tasa de percolación a la velocidad con la cual ocurre la percolación. El diseñador deberá obtener las siguientes propiedades y características de los suelos.

Tasas de infiltración – Se utiliza la tasa de infiltración final (se considera como la tasa de infiltración cuando esta ha llegado a su valor mínimo) para realizar el diseño. Se utilizarán técnicas reconocidas y aceptadas por agencias del gobierno federal o estatal (USGS, NRCS, DAPR, etc.) para realizar las pruebas de infiltración. La técnica más utilizada es la prueba de infiltración de doble anillo. Para esta prueba se utilizará el estándar ASTM D3385-18 (o el más actual al momento de hacer las pruebas).

Tasa de percolación – Se identificarán los lugares que son adecuados para realizar prácticas LID que dependen de la infiltración y de la percolación del suelo. Dependiendo del tamaño de la práctica, se identificarán tres o más puntos para realizar la prueba de percolación. El Apéndice 10.A describe la prueba de percolación.

Conductividad hidráulica – Para la evaluación general del subsuelo en las áreas propuestas para biorretención, pavimento permeable y otras prácticas basadas en infiltración, se determinará la conductividad hidráulica saturada medida para los suelos existentes. La conductividad hidráulica saturada puede utilizarse como tasa de infiltración para diseño si el diseñador a cargo certifica que las muestras de suelo para las pruebas de laboratorio se realizaron en lugares representativos y en una distribución adecuada capaz de producir valores promedios que represente plenamente la capacidad de infiltración del terreno donde se ubicarán las áreas de biorretención, pavimento permeable y otras prácticas.

Elevación del manto freático – Se determinará la elevación máxima y mínima del manto freático, preferiblemente calculada de datos obtenidos mediante el uso de un pozo de observación en el proyecto o en áreas cercanas al proyecto.

Se permitirá modificar el suelo nativo mediante la sustitución por material selecto que mejore las características de infiltración y percolación requeridas por las prácticas deseadas. En los casos donde se determine que las tasas de infiltración y de percolación no son adecuadas para las prácticas LID propuestas, y no se contempla la modificación del suelo, entonces estas prácticas podrán ser sustituidas por otras que no dependan de la infiltración como el proceso predominante para el manejo y control de la escorrentía.

La compactación del suelo tiene efectos adversos sobre las tasas de infiltración, por lo tanto, se tendrá cuidado durante la construcción de prácticas LID para reducir los efectos perjudiciales de la compactación en las tasas de infiltración de la superficie y en las tasas de percolación en el suelo nativo en el fondo de la práctica.

El diseño deberá proveer mecanismos para evitar la migración del suelo nativo hacia el interior de las distintas capas de material selecto en las celdas de biorretención, en pavimentos permeables y toda práctica LID que dependa de la infiltración y percolación para su funcionamiento adecuado.

SECCIÓN 10.3 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES PREDESARROLLO

Las condiciones predesarrollo son la base para los cálculos hidrológicos y permitirá la comparación con los resultados de los análisis hidrológicos postdesarrollo y determinación de la efectividad de las prácticas LID en la fase de planificación y diseños del proyecto. Por lo tanto, es importante

documentar las características de esta condición con información adecuada y recolectada profesionalmente. Información relevante para este fin es la siguiente, entre otras.

- Mapas históricos y actuales de uso de terreno.
- Mapa de tipos de suelos.
- Fotografías aéreas.
- Planos de carreteras y servicios públicos.
- Planos topográficos y de drenaje identificando depresiones existentes en el sitio.
- Mapas de zona inundables y humedales.
- Identificar zonas de amortiguamiento de ríos y otros cuerpos de agua, zonas de reserva o protegidas, tales como bosques estatales y cabeceras de ríos.
- Inventario de árboles y vegetación. Se recomienda incluir árboles de tronco mayor de 10 cm (4 pulgadas) de diámetro.
- Datos de lluvia (preferiblemente por hora).
- Inventario de la vegetación disponible en la zona.

SECCIÓN 10.4 INFORMACIÓN PARA LAS SIMULACIONES EN COMPUTADORA PARA VALIDAR EL DISEÑO

El requerimiento de demostrar el funcionamiento adecuado del diseño del sistema de manejo de escorrentía pluvial es extensivo al diseño de las prácticas LID. Se simulará el sistema de manejo de escorrentía pluvial incorporando las prácticas LID para las frecuencias de eventos de lluvia establecidas en el Capítulo 3. La información requerida para estas simulaciones dependerá de la aplicación computadorizada utilizada.

Dependiendo de la aplicación computadorizada y del modelo de infiltración a ser utilizado, se requerirá la siguiente información.

- Modelo de infiltración de Horton: Este modelo tiene tres parámetros los cuales se obtienen empíricamente de los resultados de pruebas de infiltración en el campo. Estos son
 - Tasa inicial de infiltración.
 - Tasa final de infiltración. Es el valor mínimo constante al final de la prueba de infiltración. Similar a la conductividad hidráulica aparente.
 - Constante de atenuación de la capacidad de infiltración.
- Modelo de infiltración de Green-Ampt: Este modelo tiene tres parámetros y se obtienen de pruebas de laboratorio con muestras representativas del lugar de interés o in situ. Estos son
 - Conductividad hidráulica de saturación.
 - Carga de succión capilar.
 - Porosidad del suelo.

- Otros modelos de infiltración: El usuario de estas aplicaciones determinará los datos requeridos para otros modelos de infiltración y determinará sus valores de pruebas de campo o laboratorio, según sea el caso. El diseñador informará qué datos fueron requeridos para su aplicación, el valor de ellos y cómo se obtuvieron.

SECCIÓN 10.5 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Aunque este reglamento toca el tema del análisis hidrológico en el Capítulo 3, en esta sección se presentan las consideraciones especiales y distintas para el análisis hidrológico necesario para el diseño de prácticas LID. Este análisis hidrológico tiene como propósito determinar las estrategias necesarias para mantener, hasta donde sea posible, las características hidrológicas del sitio para las condiciones predesarrollo y determinar los caudales y volúmenes después del desarrollo para eventos frecuentes, usualmente entre 1 y 5 años de recurrencia. Entre los parámetros que permiten esta comparación están los siguientes.

1. La magnitud de las escorrentías postdesarrollo igual o menor que aquella para la condición predesarrollo. Para esto se requiere un evento de diseño.
2. El volumen de escorrentía y el caudal máximo iguales o menores que los que se tenían antes del desarrollo.
3. El tiempo de concentración postdesarrollo lo más cerca posible del tiempo de concentración predesarrollo.

Estos requisitos pueden lograrse mediante el uso de técnicas de detención y retención, reduciendo las velocidades de la escorrentía y promoviendo la infiltración. Aumentos en la evaporación también contribuyen a la disminución del volumen de escorrentía.

En términos generales, las prácticas LID pueden ser un componente en la estrategia de mitigación de caudales generados por la condición postdesarrollo. La efectividad de las prácticas LID para mitigar caudales será evidente para eventos de baja frecuencia. En el caso que se utilicen las prácticas LID con este propósito, se determinará primeramente la mitigación obtenida por estas prácticas y luego se determinará la mitigación adicional requerida para eventos de mayor magnitud, utilizando estructuras de control de escorrentía (ver Capítulo 6) para el proyecto en su totalidad. La Figura 10.2 muestra una comparación de los hidrogramas conceptuales del proyecto sin mitigación, con el uso de prácticas LID y con estructuras de control de escorrentía, respectivamente.

10.5.1 Evento de diseño

El criterio para seleccionar el evento de diseño para las medidas de bajo impacto se fundamenta en mantener las condiciones hidrológicas predesarrollo en el sitio. Por lo tanto, el primer paso es determinar cuáles son esas condiciones, específicamente el número de curva, CN, correspondiente. El evento de diseño será el caudal que produce una lluvia de 24 horas de duración y con recurrencia de un (1) año para las condiciones postdesarrollo. El Numero de Curva se calculará como una ponderación basada en áreas de captación.

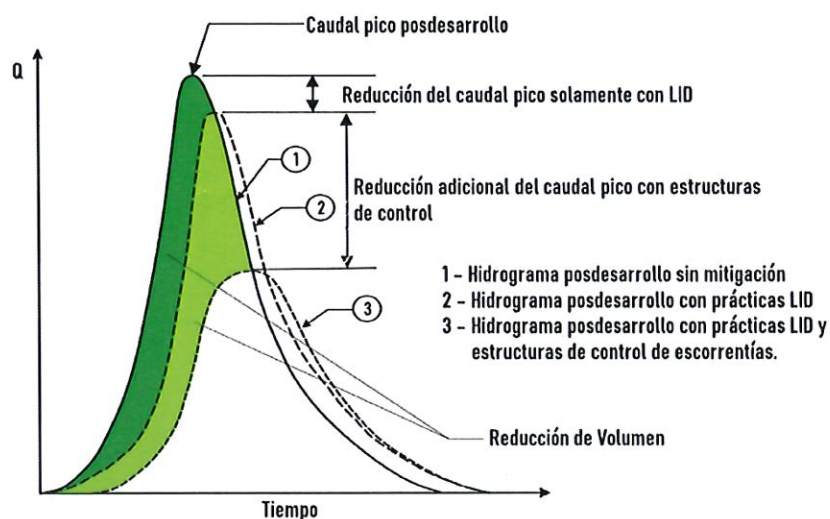


Figura 10.2 Hidrogramas conceptuales de caudales mostrando el concepto de la reducción del caudal pico y volumen de escorrentía postdesarrollo.

10.5.2 Reducción del volumen de escorrentía postdesarrollo

El volumen de escorrentía se reduce cuando se incrementa la infiltración. Esto se logra reduciendo las áreas impermeables o desconectándolas del sistema de drenaje pluvial. Para propósitos de diseño, esto se traduce en una reducción en el número de curva, CN, lo cual indica mayor infiltración. Por lo tanto, las prácticas LID buscan reducir el CN para las condiciones postdesarrollo a valores similares a los que había en la condición predesarrollo. El Capítulo 3 presenta la forma de analizar el CN cuando las superficies están desconectadas del sistema de drenaje pluvial. Las prácticas LID requieren una selección cuidadosa de los parámetros usados en el cálculo de CN. La Tabla 10.1 muestra el efecto de los parámetros que afectan el CN y su impacto en las medidas de diseño.

10.5.3 Mantener el tiempo de concentración de la condición predesarrollo

El tiempo de concentración se aproxima al tiempo de viaje del agua a través de las diferentes superficies por las que escurre. Luego del desarrollo por lo general el tiempo de viaje se reduce por el aumento en la impermeabilización de las superficies y la reducción en su rugosidad. Algunas técnicas que se pueden usar para mantener los tiempos de viaje similares antes y después de construir un desarrollo son:

1. Incrementar la longitud de viaje de la escorrentía redirigiendo los flujos usando cauces naturales o construir canales y surcos vegetados.
2. Incrementar la rugosidad de las superficies para disminuir las velocidades o no alterar las áreas que tienen vegetación.

3. Usar métodos de retención o detención tales como jardineras pluviales o sistemas de biorretención.
4. Reducir las pendientes en las áreas impactadas.
5. Desconectar las áreas impermeables usando jardines o áreas vegetadas.
6. Conectar áreas permeables y áreas vegetadas.

La mayoría de estas técnicas se cuantifican mediante un aumento en el coeficiente de rugosidad de la superficie, un incremento en la longitud para flujo en capa y reducción de las pendientes para flujo concentrado.

SECCIÓN 10.6 MANEJO DE CAUDALES Y VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA DURANTE EVENTOS MAYORES AL EVENTO DE DISEÑO

Las prácticas LID generalmente están diseñadas para manejar la escorrentía producto de eventos de lluvia de baja frecuencia y duración. Los flujos de eventos mayores al evento de diseño se desviarán utilizando estructuras de derivación o desbordamiento. Las prácticas LID se diseñarán de tal forma que los caudales y volúmenes generados por eventos de lluvia mayores a los eventos de diseño no ocasionen daños al sistema de prácticas LID. Para esto se proveerán controles para el manejo de los

Tabla 10.1 Efectos de los parámetros del CN en las medidas de diseño LID.

Parámetros que afectan el CN	Construcción mínima de aceras	Reducción en el ancho y longitud de calles	Conservación de las áreas naturales	Minimizar las áreas perturbadas	Preservar los suelos de alta infiltración.	Preservar las depresiones naturales	Usar zonas de transición	Usar surcos vegetados	Mantener la vegetación existente
Tipo de cobertura de suelo			X	X			X	X	X
Porcentaje de impermeabilización	X	X					X		
Grupo hidrológico			X		X				
Condición hidrológica			X	X	X				
Áreas impermeables desconectadas	X	X							

caudales y volúmenes grandes. A continuación, se introducen algunas alternativas para cuando las prácticas LID se colocan a lo largo de la trayectoria del flujo; otras son para cuando la práctica esta fuera del cauce normal del flujo.

En prácticas LID, tales como jardineras filtrantes o sistemas de biorretención, a lo largo del flujo se podrá usar un canal para recoger el flujo excedente por desbordamiento. El canal puede ser vegetado, cubierto con grava o con hormigón con un vertedor en la entrada protegido contra la erosión (ver Figura 10.3 y Figura 10.4).

Si se trata de un sistema de biorretención entonces el exceso de agua puede desaguar mediante un tubo vertical o un desagüe de caja conectado a un drenaje soterrado. La entrada del tubo o la caja tendrá rejillas para evitar la entrada de objetos que pueden tapar los conductos inferiores. El tope de estos drenajes se colocará a una altura que no permita la acumulación de un volumen de agua mayor que el de diseño dentro de la práctica LID. La Figura 10.5 y Figura 10.6 muestran estas situaciones.

La Figura 10.7 y Figura 10.8 muestran estructuras de intercepción que permiten que parte del agua entre en la práctica LID y otra parte siga su camino a lo largo de la cuneta. Estas prácticas pueden ser cajas jardineras y celdas de biorretención en aceras o al costado de calles. Los dispositivos son aperturas en el sardinel de las cunetas que permiten la entrada y salida de agua a estas prácticas LID. Si los suelos no permiten percolación o drenaje adecuada, o donde el manto freático se encuentre a menos de 30 cm (12 pulgadas) por debajo del fondo de la práctica LID, una alternativa es instalar drenajes soterrados para eliminar el estado de inundación superficial frecuente o prolongada. Esto se muestra en la Figura 10.9.

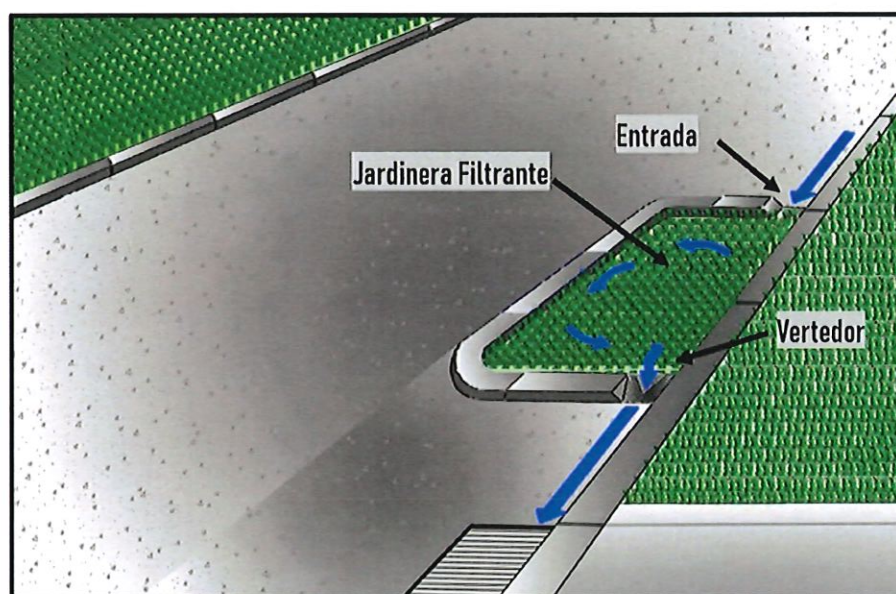


Figura 10.3 Jardinera con desborde.

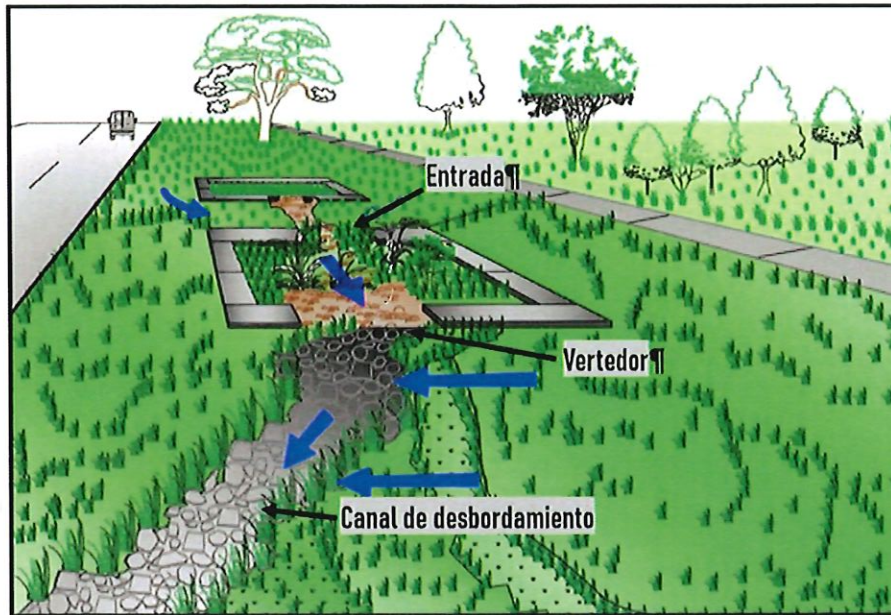


Figura 10.4 Canal de desbordamiento.

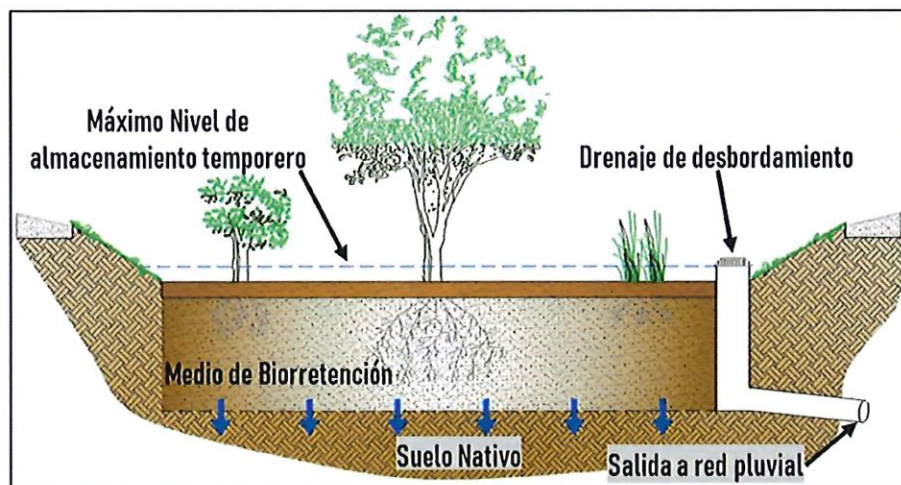


Figura 10.5 Drenaje para desbordamiento en sistema de biorretención.

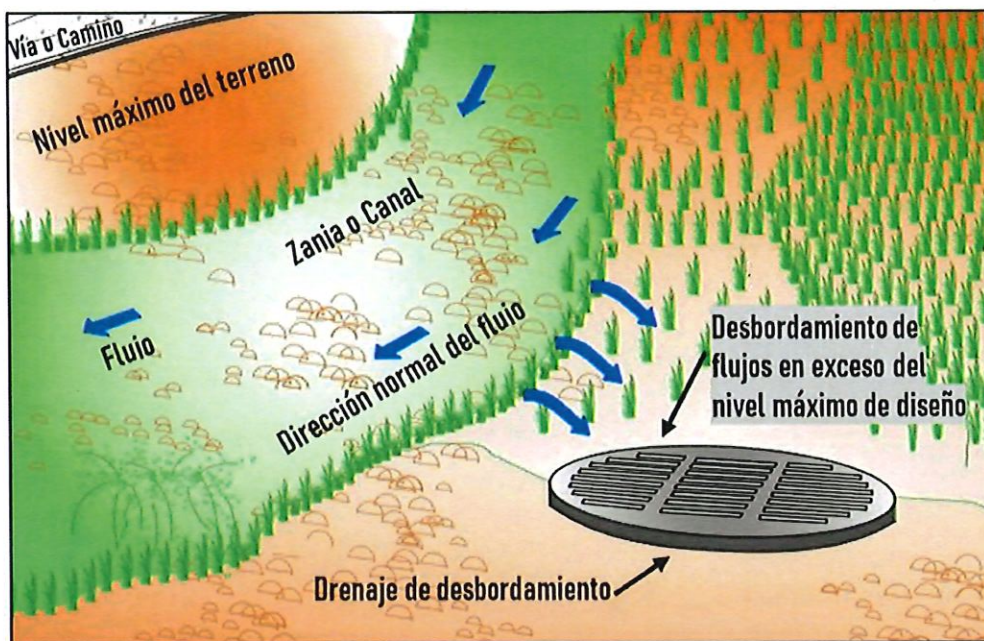


Figura 10.6 Drenaje para desbordamiento en zanjas y canales vegetados.

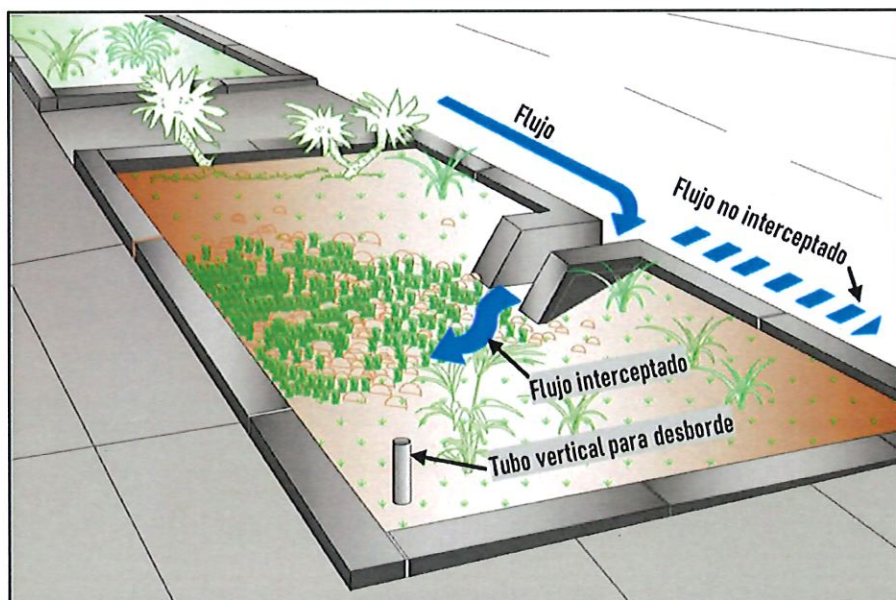


Figura 10.7 Aperturas en sardinel para interceptar flujo.

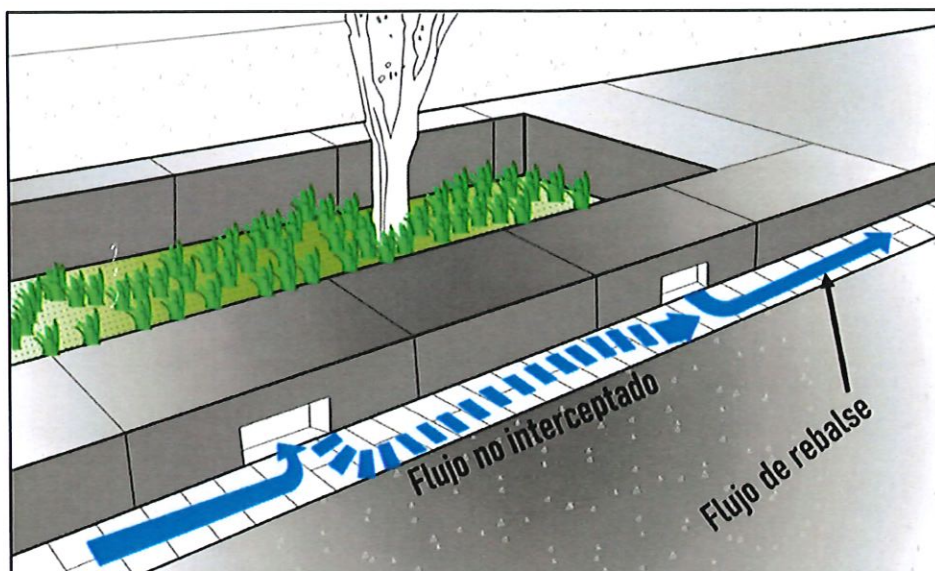


Figura 10.8 Intercepción en la cuneta con entrada y salida para desborde.

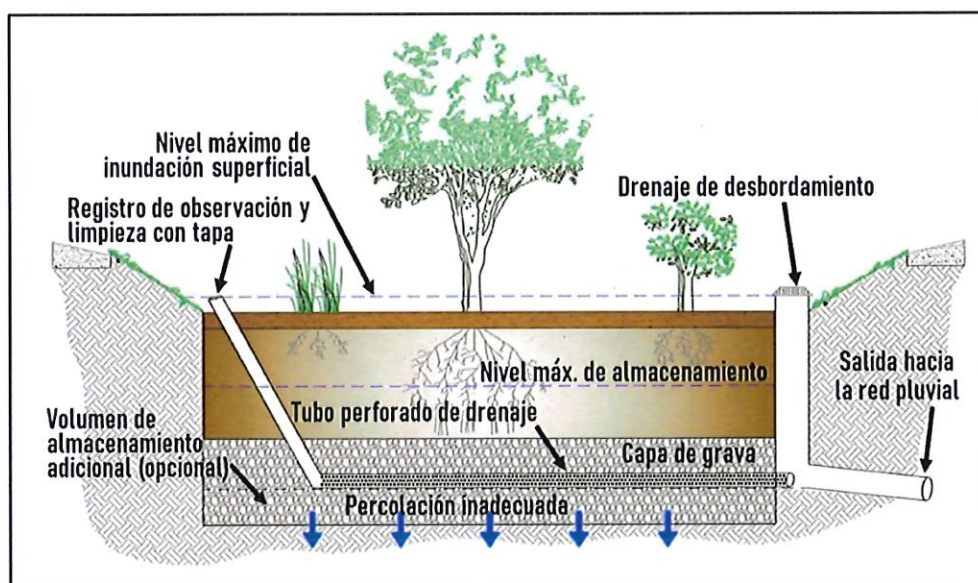


Figura 10.9 Jardín pluvial con drenaje suplementario.

Otra alternativa para suelos con capacidad de infiltración suficiente es construir una trinchera de infiltración para manejar el flujo excedente de superficies LID. Puede usarse en conjunto con pavimento permeable, como se muestra en la Figura 10.10. El desbordamiento de la trinchera se dirigirá en forma distribuida hacia una superficie vegetada en tal forma que no erosione el área receptora de esta descarga. A continuación, se ofrecen detalles de las prácticas LID de uso más común.

SECCIÓN 10.7 SISTEMAS DE BIORRETENCIÓN

Esta sección incluye aspectos generales para los siguientes sistemas de biorretención.

- Celdas de biorretención
- Jardines pluviales
- Cajas jardineras
- Zanjas vegetadas

Estos sistemas utilizan vegetación seleccionada en combinación con procesos de filtración que promueven la detención, infiltración y evapotranspiración. Consecuentemente, favorecen la reducción del volumen de las aguas de escorrentía que se generan en las áreas próximas a estos sistemas. A su vez proporcionan almacenamiento temporero y descarga controlada para reducir los caudales de escorrentías. A pequeña escala, estos sistemas pueden estar contenidos dentro de cajas jardineras entre las calles y aceras, y a una escala mayor, pueden ser áreas verdes y parques para recreación pasiva. Esta sección se referirá a todos estos sistemas con el término biorretención.

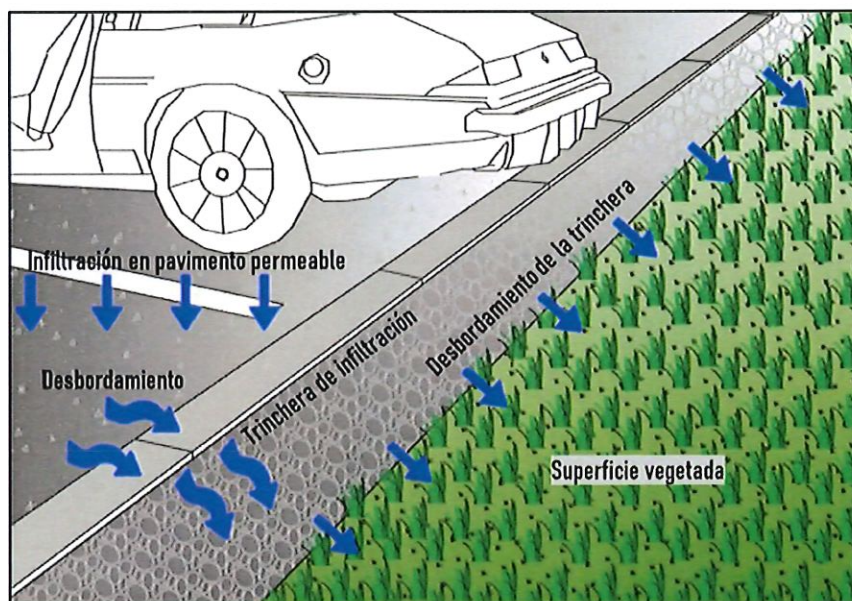


Figura 10.10 Trinchera de infiltración para flujo excedente de pavimento permeable.

Los elementos clave de estos sistemas son los siguientes:

- Diseño de manejo de escorrentías pluviales replicando los procesos naturales del ciclo hidrológico.
- Flexibilidad en su tamaño y configuración; se pueden utilizar para una amplia variedad de aplicaciones y efectos estéticos y paisajistas.
- Manejo del volumen proveyendo almacenamiento y drenaje para períodos de hasta 48 horas.
- Suelo nativo o modificado que proporciona almacenamiento temporal de aguas pluviales y provee una base saludable para el crecimiento de las plantas.
- Plantaciones de vegetación nativa que proporcionan evapotranspiración de aguas pluviales, eliminan contaminantes y mejoran la apariencia del paisaje. La vegetación puede requerir mantenimiento.
- Su diseño incluye sistemas de vertedores, o drenajes de desbordamiento, que permite limitar la profundidad de los niveles de inundación en el área de almacenamiento.
- El volumen de escorrentía subterráneo puede ser controlado por drenajes soterrados.

10.7.1 Descripción de los sistemas de biorretención

En general, un sistema de biorretención consiste en entrada de flujo, área de empozamiento, vegetación, capa o cubierta orgánica (mantillo), un medio que permita la percolación y provea sostén a la vegetación, un medio filtrante (una mezcla de arena y materiales finos) y salida de desbordamiento. Dependiendo de la capacidad de infiltración del subsuelo nativo, el área de biorretención estará compuesta por tres capas. La primera consistirá en una capa de materia orgánica para promover la infiltración y que funcione como un primer filtro con una permeabilidad tal que permita el flujo del agua hacia las capas más profundas. Esta primera capa filtrará los sólidos más grandes que sean arrastrados por las escorrentías. La segunda capa consistirá en un medio de soporte para la vegetación. Esta capa puede reusar el suelo nativo, siempre y cuando este tenga las características requeridas para percolar el agua y sostener la vegetación. Si este no es el caso, se utilizará un suelo modificado que provea estas características. La tercera capa y más profunda consistirá en una franja con una combinación de grava y arena que proporciona un medio bien drenado. En el caso de suelos nativos con baja capacidad de infiltración (menos de una pulgada por hora), se puede incluir una tubería perforada a manera de drenaje soterrado colocada horizontalmente que a su vez se conectará al sistema pluvial soterrado o a otra práctica LID como se muestra en la Figura 10.11. La Figura 10.12 muestra un esquemático típico de un sistema de biorretención en un terreno que no requiere mejoras.

10.7.2 Aplicaciones de Sistemas de Biorretención

Los sistemas de biorretención se localizan cerca del lugar donde se generan las escorrentías. Típicamente se ubican cerca de áreas de estacionamiento, aceras, calles, áreas impermeables y cerca de los puntos de descarga de las recogidas de agua de techos. Estos sistemas pueden incorporarse en nuevas construcciones o en mejoras del terreno (nivelación de pendientes) en construcciones

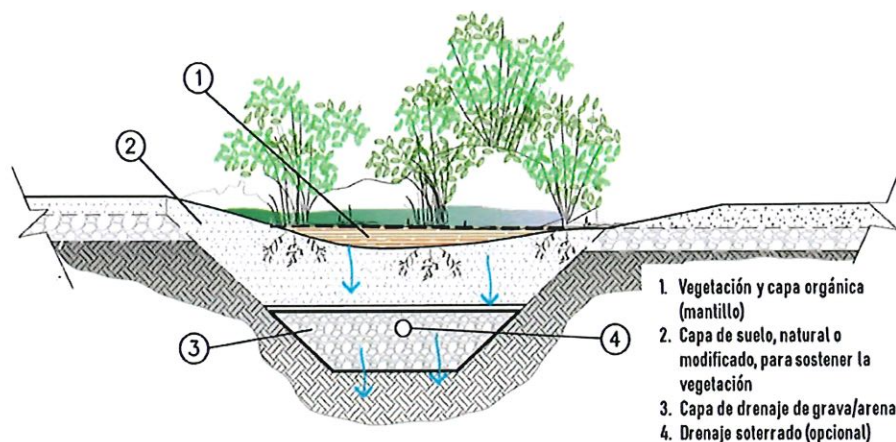


Figura 10.11 Sistema de biorretención en un terreno mejorado.

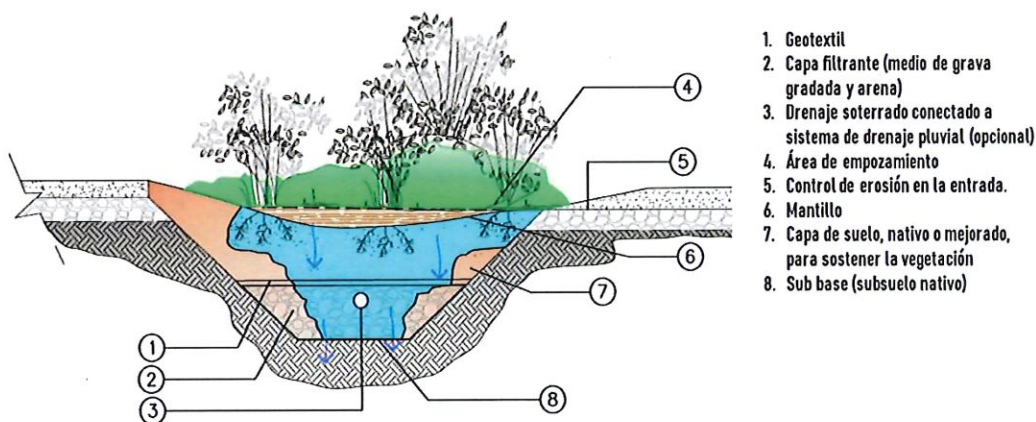


Figura 10.12 Sistema de biorretención en un terreno que no requiere mejoras.

existentes. Dependiendo del volumen de escorrentía a manejarse, podrían requerirse mejoras en las condiciones de infiltración, las condiciones del suelo y la ubicación de las obras.

Estos sistemas pueden usarse en entornos urbanos densamente desarrollados, al igual que en otros terrenos con menor desarrollo, incluyendo áreas verdes y parques. Los sistemas de biorretención se implementan aprovechando la topografía disponible y pueden interconectarse con infraestructura tradicional o la implementación de zanjas vegetadas.

10.7.3 Criterios Comunes para Diseño de Sistemas de Biorretención

Estas medidas no son recomendables en ausencia o insuficiencia de área disponible para biorretención en proyectos existentes, o en algunos casos, cuando no haya suficiente espacio para las servidumbres de infraestructura o facilidades existentes. Tampoco se recomiendan cuando las pruebas de campo indiquen que los posibles sitios de biorretención tienen una conductividad hidráulica saturada del suelo nativo medida (inicial) inferior a 25 mm/hr (1.0 pulgadas por hora). Los parámetros que se introducen a continuación se deben seguir para el funcionamiento efectivo de estas medidas.

10.7.3.1 Profundidad máxima de empozamiento

En ninguna circunstancia se debe permitir que la profundidad del agua empozada exceda 50 cm (20 pulgadas). Este parámetro afecta el tiempo de drenaje y el volumen de agua retenido.

10.7.3.2 Profundidad de la capa de suelo

La profundidad de la capa de suelo mejorado, o nativo, será de entre 45 y 90 cm (18 a 36 pulgadas). Esta es una capa de suelo filtrante que permitirá la siembra y favorecerá la infiltración. Las variedades de arbustos o árboles seleccionadas para la siembra en estos sistemas tendrán un crecimiento de raíces que no exceda la profundidad de esta capa. Este parámetro afecta el tiempo de vaciado y el volumen retenido.

10.7.3.3 Uso de suelo estructural

Se utilizará suelo estructural dentro de la zona de biorretención que requiera capacidad de carga. Se requerirá que la capa de suelo para sostener la vegetación sea sustituida por suelo estructural siempre que el sistema de biorretención esté adyacente a edificios, aceras y calles.

Suelo franco arcilloso: El suelo franco arcilloso deberá ser un suelo “franco a franco arcilloso” basado en el sistema de clasificación de suelos del USDA según determinado por análisis mecánicos (ASTM D6913\D6913M-17 y D7928-17, o los más recientes) y será de composición uniforme. Deberá estar libre de piedras de más de 1.25 cm (0.5 pulgadas), grumos, plantas y sus raíces, escombros y otras materias extrañas de más de 2.5 cm (1.0 pulgada) de diámetro o exceso de trozos más pequeños de los mismos materiales, según determinado por el ingeniero geotécnico. No deberá contener sustancias tóxicas perjudiciales para el crecimiento de las plantas. Se obtendrá de zonas que nunca hayan sido despojadas de la capa superior del suelo (“topsoil”) y que tengan un historial de crecimiento vegetativo satisfactorio. El contenido de materia orgánica estará entre 2% y 5%. La gradación del suelo franco arcilloso será como se indica en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2 Gradación para el suelo franco arcilloso.

Textura	% del peso total
Piedra	Menos de 5%
Arena	20 a 45%
Limo	20 a 50%
Arcilla	20 a 40%

Piedra triturada: El 90 a 100% de la piedra debe pasar el tamiz de 37.5 mm (1.5 pulgadas), el 20 a 55% debe pasar el tamiz de 25 mm (1.0 pulgadas) y el 10% debe pasar el tamiz de 19 mm (0.75 pulgadas). Se requiere una relación entre el tamaño de partícula nominal máximo y el nominal mínimo de 2. Las dimensiones aceptables de los agregados no excederán de 2.5:1 para cualquiera de las dos dimensiones elegidas. Un mínimo de 90 por ciento de la piedra tendrá una cara fracturada y un mínimo de 75 por ciento con dos o más caras fracturadas.

Hidrogel: El hidrogel será un copolímero de propenoato/propenamida de potasio (“potassium propenoate/propenamide”).

Suelo estructural: El suelo estructural será una mezcla uniforme de piedra triturada, suelo franco arcilloso y un copolímero adherente (hidrogel) mezclados en las siguientes proporciones.

Tabla 10.3 Proporciones de materiales para el suelo estructural.

Material	Unidades de peso seco
Piedra triturada	80 unidades/100 unidades de la mezcla completa (80%)
Suelo franco arcilloso	20 unidades/100 unidades de la mezcla completa (20%)
Copolímero	0.03 unidades/100 unidades de piedra triturada
Humedad total	Humedad óptima AASHTO T-99

10.7.3.4 Profundidad de la capa filtrante

Esta será una capa inferior de grava y arena que permita el flujo de las aguas hacia el fondo de la fosa y que sirve para almacenamiento temporero de las aguas. En el caso de los jardines pluviales y si el suelo tiene la capacidad de percolar, esta capa puede sustituirse por un geotextil o tela permeable. La profundidad no será menor de 0.60 metros (24 pulgadas). Este parámetro afecta el tiempo de vaciado y el volumen retenido.

10.7.3.5 Distancia al nivel freático

La distancia del fondo de la fosa de la práctica LID hasta el nivel freático máximo será no menor de 30 cm (12 pulgadas). Este parámetro afecta el gradiente hidráulico para la percolación en la zona saturada.

10.7.3.6 Pendientes de terrenos adyacentes

La biorretención se puede utilizar para sitios con una variedad de condiciones topográficas, pero funciona mejor cuando la pendiente del área inmediatamente adyacente a la práctica de biorretención, dentro de aproximadamente 4.5 a 6 metros (15 a 20 pies), esté entre 1 y 5%. No se utilizará sistemas

de biorretención en áreas donde las pendientes adyacentes sean superiores a un 20% debido al riesgo de erosión.

10.7.3.7 Capacidad de infiltración del suelo

La capacidad de infiltración de suelo nativo, o preparado, para un sistema de biorretención será determinada mediante pruebas de campo. Se utilizará la prueba de infiltración de doble anillo siguiendo el estándar ASTM D3385-18 (o el más actual al momento de hacer las pruebas) y se seleccionará la capacidad de infiltración mínima, o final, para el diseño. La capacidad de infiltración mínima será igual o mayor a 25 mm/hr (1 pulgada/hr).

10.7.3.8 Área superficial de los sistemas de biorretención

El área superficial será entre un 7 y un 20% de la superficie impermeable que genera la escorrentía. Las áreas de drenaje de los sistemas de biorretención se limitarán a un máximo de 2 hectáreas (5 cuerdas). Áreas más grandes podrán ser drenadas a través de esta tipología de sistemas siempre y cuando la profundidad de los sistemas diseñados no implique la inundación del LID por la presencia de niveles freáticos altos o que se castigue adversamente el desempeño del elemento.

10.7.3.9 Caudales y Volúmenes de Diseño

Los sistemas de biorretención interceptan las aguas superficiales y las infiltran para almacenarlas temporariamente en el subsuelo donde percolan y se descargan gradualmente mediante tuberías perforadas soterradas. El flujo que admiten estas estructuras es la tasa de infiltración en el suelo poroso, mientras que, el flujo de salida es el recogido por las tuberías de drenaje producto de la percolación. La operación del sistema es controlada por la menor entre la tasa de infiltración y la de percolación. Por esta razón el diseño de los LID asociados con la porosidad del suelo requiere un cálculo cuidadoso del gradiente hidráulico. El diseño debe demostrar continuidad entre la infiltración y la percolación según la ley de Darcy. Durante los eventos de lluvia, las capas porosas se llenan de agua ocupando el volumen de vacíos disponible. Bajo condiciones de saturación la percolación queda directamente conectada con las tuberías de drenaje soterradas. En estas condiciones el flujo de diseño es controlado por el menor entre la percolación en las capas filtrantes y el flujo a través de las tuberías de drenaje.

El volumen de diseño se calculará a partir de la diferencia entre el contenido de humedad de saturación y el contenido de humedad inicial de las capas filtrantes (suelo y subbase). El diseñador proveerá valores de conductividad hidráulica para condiciones recién construida para cada capa de material y usará un valor de 25.4 mm/hr (1 pulgada/hr) como valor bajo condiciones de máxima obstrucción. Nunca el contenido de humedad inicial debe estar por debajo del punto de marchitez de las plantas.

10.7.3.10 Tiempo de drenaje y tiempo de secado

El tiempo de drenaje es aquel que transcurre hasta que no hay agua sobre la superficie del terreno. El tiempo de secado es el que transcurre mientras el agua drena por gravedad debajo de la superficie hacia la tubería de drenaje. El tiempo de drenaje depende de la porosidad de las capas de material en el subsuelo.

Este aspecto debe considerar que, cuando los LID son nuevos, la tasa de infiltración es máxima y se va reduciendo con el tiempo conforme los poros se tapan. Para mantener la operación efectiva se puede considerar establecer controles hidráulicos en las tuberías de drenaje que permitan una razón de

percolación adecuada, manteniendo un tiempo de drenaje que cumpla con las normas de este reglamento.

Los sistemas de biorretención serán diseñados para que drenen completamente en un periodo menor o igual a 48 horas después del final del evento de lluvia de diseño. Este tiempo incluye el tiempo para drenar las capas de suelo que forman el sistema. Se diseñará para la capacidad de infiltración mínima (capacidad de infiltración final o conductividad hidráulica).

10.7.3.11 Diseño de la entrada

En aquellos casos donde la escorrentía provenga de superficies permeables se requiere una franja de amortiguamiento de hierba de 0.5 a 3 metros de largo para las entradas donde el afluente llegue disperso sobre la superficie del terreno. Se requiere control de erosión en la entrada si el afluente llega concentrado (descarga puntual). Las velocidades de entrada al sistema de biorretención no deben exceder 0.2 m/s (0.66 pies/s).

10.7.3.12 Salida para desbordes

La tubería de drenaje subterránea debe tener una salida en caso de desbordamiento por eventos mayores que los de diseño del LID. Si la tubería se conecta con el sistema de alcantarillado se proveerá una salida para desbordamiento que permita dirigir las aguas excedentes hacia la cuneta u otro punto de descarga.

10.7.3.13 Selección de la Vegetación

La selección de la vegetación debe hacerse con las siguientes condiciones:

- Los sistemas de biorretención no deben ubicarse en áreas que requieran la eliminación de árboles maduros existentes. Estos deben integrarse dentro del paisaje.
- Los suelos deben ser adecuados a la climatología del sitio, adecuados para las variedades de vegetación que se seleccionen y el favorecimiento de la infiltración y la retención del agua.
- La mezcla de suelo tendrá una composición similar a 40% a 50% de arena, 20% a 30 % suelo (topsoil) y 10% - 20 % composta y no más de un 10% de arcilla. La conductividad hidráulica de esta mezcla debe estar entre 1.5 y 2.5 m/día (5 y 8 pies/día).
- Las variedades de vegetación seleccionadas deben ser adaptadas al clima y el suelo que se utilice. Se usarán variedades nativas siempre que sea posible.
- Se tomarán medidas para prevenir el acceso de basuras, escombros o altas concentraciones de sedimento en suspensión. Se debe consultar con un agrónomo o especialista en jardines y paisajes sobre las variedades locales más adecuadas para el sitio del proyecto.

10.7.4 Jardines Pluviales

Una variante de los sistemas de biorretención son los jardines pluviales; que son áreas paisajistas, con vegetación y suelos diseñados específicamente para recibir, almacenar y filtrar la escorrentía proveniente de áreas cercanas. Los jardines pluviales están contruidos sobre una base de material granular con material vegetal seleccionado por las características de sus raíces y tolerancia a

diferentes condiciones de humedad del suelo. Además de los beneficios estéticos, los jardines pluviales facilitan la bio-remediación (remoción y degradación de contaminantes a través de procesos de naturaleza vegetal) y toleran períodos de humedad extrema y sequía. Al igual que las depresiones en las celdas de biorretención, los jardines pluviales son más eficaces en áreas donde la permeabilidad del suelo es alta.

10.7.4.1 Aplicaciones de jardines pluviales

Los jardines pluviales son eficaces tanto en proyectos nuevos como en la implementación de mejoras de sistemas pluviales existentes y se pueden diseñar como un elemento de mejora paisajistas en la mayoría de los casos. Los jardines pluviales son una excelente alternativa para aumentar la infiltración in situ en áreas de jardines y pastos existentes. Esta estrategia permite aprovechar las áreas bajas para recoger de manera natural la escorrentía.

En áreas de estacionamiento, las isletas con vegetación y árboles se pueden transformar en zonas de retención de aguas pluviales cortando, o quitando, los encintados para recibir las aguas pluviales provenientes de las superficies impermeables. También se puede utilizar en áreas de jardín para recibir las aguas de los techos.

10.7.4.2 Consideraciones específicas de diseño

Las siguientes son consideraciones de diseño específicas para jardines pluviales.

- El área de captación de la práctica determinará el tamaño del jardín.
- Se debe prever un drenaje para aquellos eventos de lluvia que sobrepasen la capacidad de almacenamiento.

10.7.5 Celdas de Biorretención

Las celdas (charcas o pozas) de biorretención son sistemas de manejo y tratamiento de aguas de escorrentía similares a los jardines de biorretención que se ubican dentro de una depresión poco profunda compuesta por vegetación y suelo superficial modificado. Reducen la escorrentía superficial, proveniente de techos, calles y aceras cercanos, al promover la infiltración. La Figura 10.13 muestra un esquemático de una celda de biorretención.

10.7.5.1 Aplicaciones de celdas de biorretención

Las celdas de retención se pueden utilizar como medida local para manejar las escorrentías de su área de captación dentro de desarrollos mayores, incorporando a su vez áreas verdes que mejoren el paisajismo del proyecto. Aunque fueron concebidos inicialmente para implementarse en lotes residenciales privados para mejorar sistemas nuevos y existentes, también son aplicables a desarrollos comerciales, industriales, institucionales y recreativos; y pueden incorporarse a nuevas construcciones o añadirse a los jardines existentes como parte de mejoras a sistemas existentes.

10.7.5.2 Consideraciones específicas de diseño

Las siguientes son consideraciones de diseño específicas para celdas de biorretención.

- El ancho mínimo debe ser de al menos 4.5 m (15 pies), y preferiblemente de 7.5 m (25 pies).

- La longitud de las áreas de biorretención debe ser al menos el doble del ancho, o un mínimo de 12 m (40 pies).
- La zona de inundación debe tener una profundidad mínima de 15 cm (6 pulgadas).
- La zona de las raíces debe tener una profundidad mínima de 1.2 m (4 pies).

10.7.6 Cajas Jardineras

Estas cajas son construidas bajo los mismos principios y conceptos de los sistemas de biorretención, que utilizan vegetación y suelos modificados para filtrar y/o retener las aguas pluviales. Algunas usan sistemas modulares para espacios pequeños, como el mostrado en la Figura 10.14. Hay dos tipos de cajas jardineras según las características y requisitos del sitio. Estas son las siguientes.

Jardineras confinadas: Es una jardinera con salida únicamente por desbordamiento y drenaje soterrado. En otras palabras, no permite la percolación hacia el suelo profundo. Las jardineras confinadas se diseñan para retener el agua de lluvia, hasta que su capacidad de retención se ve excedida, luego de lo cual desborda por medio de un vertedor. El agua almacenada en la capa de suelo y medio filtrante drenará por gravedad a través de un drenaje soterrado. Esta acción permite retrasar el drenaje de aguas pluviales y reducir la descarga pico. Las jardineras confinadas se utilizan mayormente para plantar árboles y arbustos entre aceras y calles. La Figura 10.14 muestra un esquemático de una caja jardinera confinada.

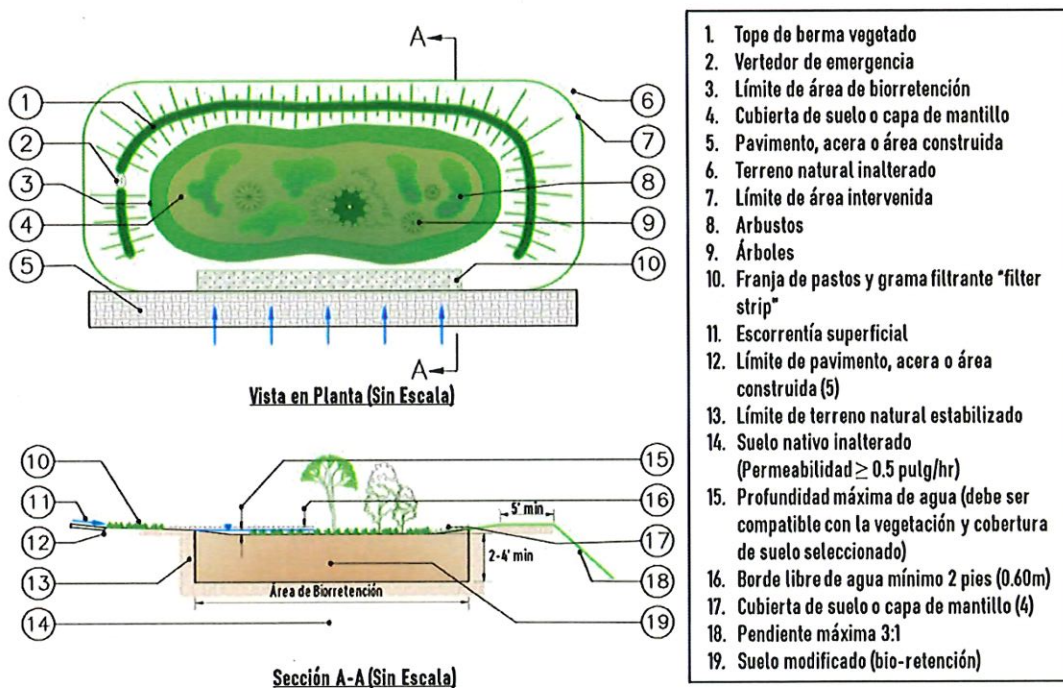


Figura 10.13 Esquemático de una celda de biorretención.

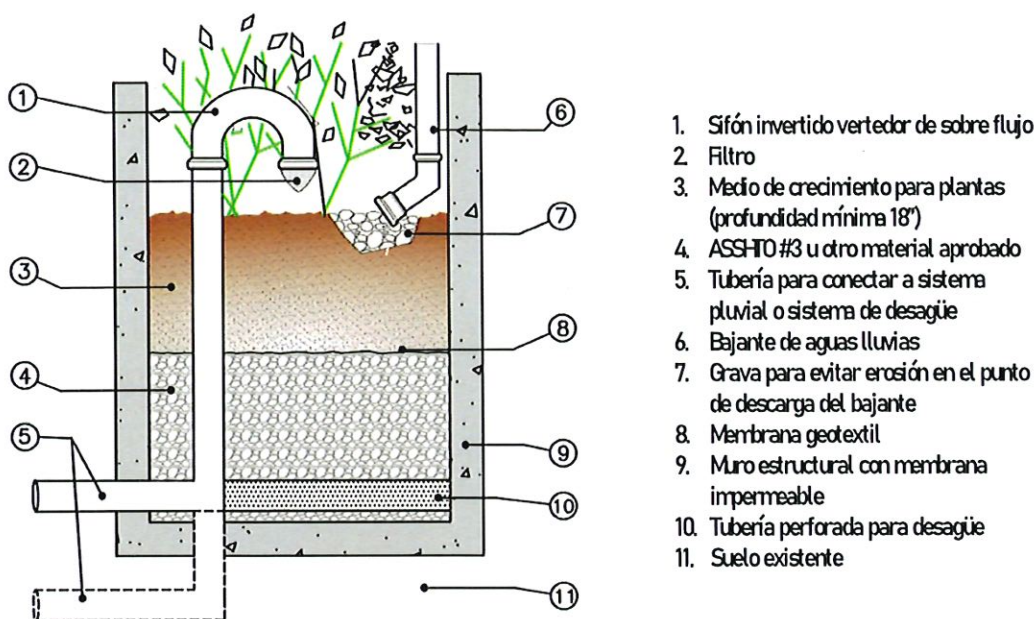


Figura 10.14 Esquemático de una jardinera filtrante confinada.

Jardineras no confinadas: También llamadas cajas jardineras de flujo continuo, son jardineras con flujo vertical y drenaje soterrado (por tubería o por percolación profunda). Son diseñadas con un fondo impermeable provisto de una estructura o elemento que permite la salida controlada del agua. En la medida que el agua se infiltra a través del suelo se puede lograr atenuación del flujo, cierta reducción del volumen y alguna mejoría en la calidad del agua. El control de flujo se consigue almacenando el agua aprovechando el volumen disponible no saturado en la jardinera. Este tipo de jardinera se puede utilizar adyacente a un edificio si está impermeabilizada correctamente siempre y cuando no presente peligro para los cimientos de la estructura. También se puede utilizar entre las aceras y calles.

La Figura 10.15 muestra los principales mecanismos de manejo de aguas de escorrentía por infiltración en una caja jardinera no confinada.

10.7.6.1 Aplicación de Cajas Jardineras

Las cajas jardineras suelen estar diseñadas para proporcionar detención de escorrentías para eventos de lluvia frecuentes y de poco volumen de escorrentía. Deben espaciarse de manera continua y uniforme lo largo de la longitud del área de interés.

- Las cajas jardineras se pueden utilizar en aceras, estacionamiento, plazas, como receptoras de aguas de techos y otras áreas impermeables.
- También se pueden construir junto a los edificios, considerando medidas de impermeabilización adecuadas para proteger los cimientos.

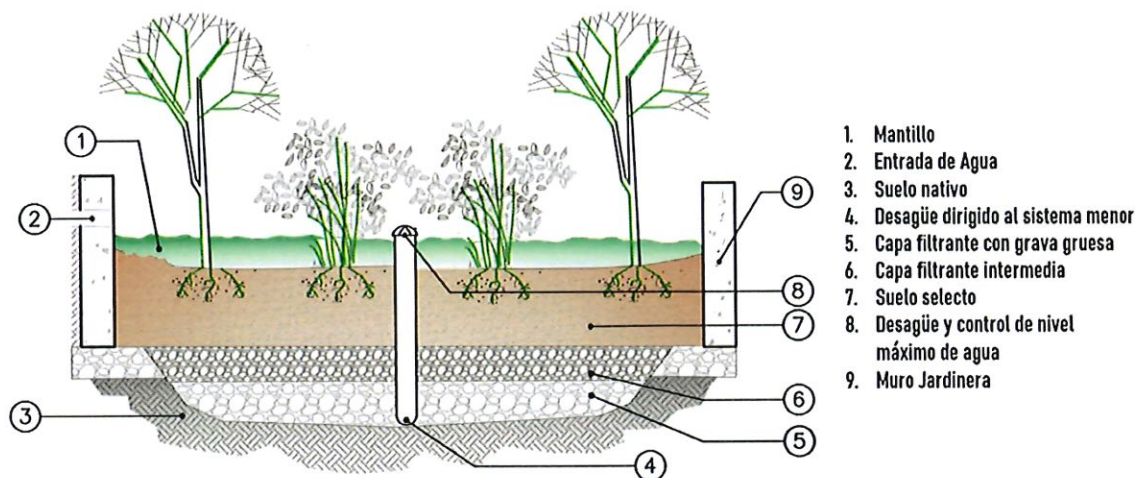


Figura 10.15 Esquemático de una jardinera filtrante no confinada.

- En desarrollos residenciales, se pueden usar en las áreas de siembra entre las aceras y calles.
- Se puede utilizar para crear bahías de estacionamiento a lo largo de las calles.

10.7.6.2 Consideraciones específicas de diseño

Las siguientes son consideraciones de diseño específicas para cajas jardineras.

- Deben estar diseñadas para detener y liberar lentamente el agua de escorrentía provenientes de áreas impermeable, pero deben vaciarse en un periodo no mayor de 48 horas.
- La vegetación puede incluir ciertas especies de hierbas, arbustos, árboles, y otras variedades recomendadas para el sitio.
- Deben estar diseñadas para recibir escorrentía proveniente de un área (impermeable) de captación no mayor de 1,400 metros cuadrados (15,000 pies cuadrados) de área impermeable.
- Las tuberías de descarga deberán desaguar a un punto de descarga permitido o al sistema de drenaje pluvial.

10.7.7 Zanjas Vegetadas

Las zanjas vegetadas son una técnica que agrega un componente paisajista para redirigir y filtrar las aguas pluviales. La principal diferencia entre los jardines pluviales y las zanjas vegetadas es que el propósito principal de las zanjas es transportar agua de una zona a otra (a menudo terminando en un jardín pluvial), maximizando la cantidad de tiempo que el agua de escorrentía permanece en la zanja (aumenta el tiempo de concentración) para atrapar sedimentos y promover la reducción de concentraciones de posibles contaminantes.

Las zanjas vegetadas se diseñan para reducir las velocidades de escorrentía aumentando la rugosidad de la superficie. El aumento de la rugosidad de la superficie se traduce en un mayor tiempo de contacto con la superficie, lo que permite una mayor infiltración, evaporación, transpiración y mejora de la calidad del agua antes de que la escorrentía llegue al cuerpo de agua receptor. La Figura 10.16 muestra un detalle típico de una zanja vegetada.

El diseño puede incluir elementos de contención transversal (represas de detención o “check dams” por su nombre en inglés) para aumentar el tiempo de detención, crear efectos de almacenamiento e incentivar la infiltración. Estas represas pueden funcionar como barreras porosas para filtración de sedimentos o como barreras impermeables que promuevan la disipación de energía y controlen el gradiente hidráulico.

10.7.7.1 Aplicaciones de zanjas vegetadas

Las zanjas vegetadas consisten en canales con una capa vegetal resistente a la erosión para manejar cantidades moderadas de escorrentía proveniente de áreas impermeabilizadas (calles, aceras, estacionamientos, etc.). Se deben observar las siguientes recomendaciones.

- No son adecuadas para áreas urbanas de alta densidad, debido a que se requiere bastante espacio para la superficie permeable.
- Su naturaleza, a menudo lineal, las hace muy adecuadas para calles residenciales y autopistas.
- No son adecuadas para áreas llanas o con terrenos fácilmente erosionables.

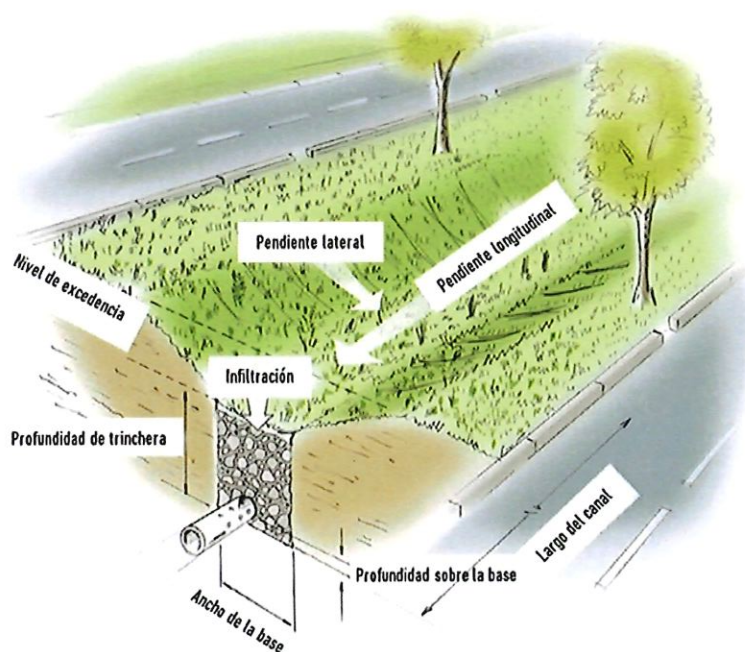


Figura 10.16 Esquemático de una zanja vegetada.

- Tienden a demandar gran extensión de suelo debido a las pendientes laterales de sus taludes.
- Son más efectivas si están cerca del área impermeable.
- No deben ser localizadas bajo árboles cuyas sombras puedan reducir su efectividad.

10.7.7.2 Consideraciones específicas de diseño

Las siguientes son consideraciones de diseño específicas para zanjas vegetadas.

- Generalmente tienen una sección trapezoidal o parabólica.
- La base de la zanja trapezoidal será entre 0.5 y 3 metros (1.5 y 10 pies).
- La pendiente longitudinal será entre 0.5 y 5 %, pudiendo incorporar elementos de contención transversal (represas de detención o “check dams”) que permitan pendientes de hasta 10 %.
- Drenajes soterrados son necesarios para pendientes menores de 1.5 %, si no se cuenta con infiltración adecuada.
- Las pendientes laterales máximas serán 3H:1V. Cuando sea posible y el espacio lo permita, se podrá usar pendientes laterales de hasta 4H:1V.
- Los elementos de contención transversal, generalmente, se instalan en intervalos de 10 a 20 metros (33 a 66 pies).
- Se instalarán disipadores de energía de 1 a 2 m (3 a 6.5 pies) de longitud aguas abajo de estos elementos.
- El diseño incluirá una tubería de desborde, o un aliviadero, sobre la profundidad de diseño para transportar el caudal en exceso al caudal de diseño.
- La vegetación seleccionada será autóctona para garantizar una cobertura densa y duradera. La vegetación debe ser capaz de adaptarse a inundaciones periódicas y sequías. El uso de otro tipo de vegetación (no autóctona) será permitido siempre que se demuestre que dicha vegetación tiene estas características.

SECCIÓN 10.8 PAVIMENTOS PERMEABLES

Los pavimentos permeables reducen la escorrentía al permitir que parte de la precipitación que cae sobre la superficie, o el agua que pasa sobre ella, se infiltre. El espacio de almacenamiento debajo del pavimento permeable puede estar constituido por grava o piedra uniformemente gradada o unidades de plástico prefabricadas con capacidad estructural. Se puede incorporar una capa de filtro opcional con drenajes soterrados en suelos de poca la infiltración. El pavimento permeable está normalmente diseñado para ser utilizado en áreas de poco tráfico y baja velocidad. Además de los beneficios del manejo de escorrentías pluviales, los pavimentos permeables pueden ser más atractivos estéticamente que los pavimentos impermeables convencionales.

10.8.1 Descripción de Pavimentos Permeables

Los sistemas de pavimento permeables reducen tanto el caudal pico como el volumen de escorrentías pluviales. El grado en que se reduce la escorrentía depende de la conductividad hidráulica de los subsuelos, la composición de la subbase, la elevación del sistema de drenaje soterrado, la presencia de controles de flujo, la relación entre el área de pavimento permeable y el área de captación. La Figura 10.17 muestra los componentes típicos de un sistema de pavimento permeable.

- Un componente superficial permeable, que permite que la precipitación y la escorrentía de las áreas adyacentes percolen hacia el subsuelo. Pueden ser adoquines de hormigón, asfalto poroso u otro elemento que proporcione la base estructural para soportar carga. Además, incluye las uniones con material permeable y su correspondiente base.
- Un espacio que permite el almacenamiento temporal de la escorrentía, cuyo diseño y funcionamiento dependerá de los mecanismos de infiltración aplicables al lugar. Este espacio contiene la subbase y subrasante según lo determine el diseño para el uso específico del pavimento. Este espacio puede contener un drenaje soterrado de ser necesario. Opcionalmente, se puede colocar un geotextil entre la última capa de la estructura y el suelo nativo sin compactar.

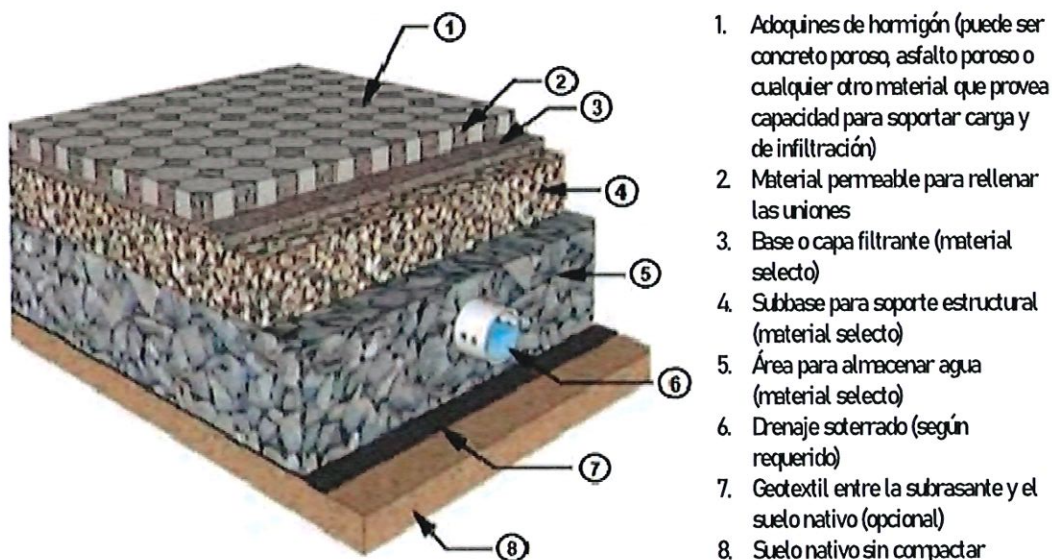


Figura 10.17 Componentes típicos de un pavimento permeable (adaptado de Freeborn et al. [4]).

10.8.2 Técnicas de Infiltración a través de Superficies Permeables

Además de la permeabilidad del terreno, es importante tener en cuenta para la elección de la técnica adecuada, factores como el nivel freático, la contaminación o elementos contaminantes que afecten las aguas subterráneas, la viabilidad de la descarga de las superficies permeables al sistema convencional de drenaje u otros sistemas de drenaje sostenible, o la proximidad a los edificios. El diseño de superficies permeables deberá llevarse a cabo a partir de una completa recolección de información que permita la selección de la técnica más adecuada, el diseño más funcional y la comprobación de su durabilidad.

No es necesario diseñar todas las áreas pavimentadas como permeables, toda vez que las superficies permeables pueden manejar la escorrentía de superficies impermeables adyacentes, incluidos los techos. Se utilizará una relación no mayor de 2 unidades impermeable a 1 unidad permeable (2:1) para evitar sobrepasar la capacidad de las áreas permeable para manejar la escorrentía proveniente de las áreas permeables.

A continuación, se identifican tres técnicas para la aplicación de superficies permeables según el nivel de permeabilidad de la subrasante, el cual debe establecerse a partir de pruebas en el sitio.

10.8.2.1 Infiltración total

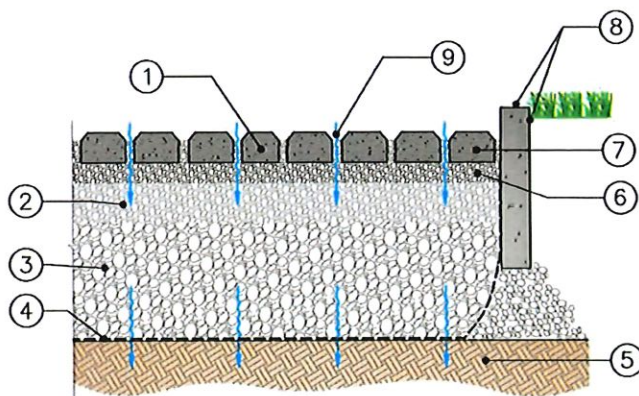
Esta técnica es adecuada para suelos con buena permeabilidad. Permite que toda el agua que cae sobre el pavimento se infiltre a través de la subbase permeable y finalmente, en la subrasante. Puede darse la retención temporal del agua en la subbase permeable permitiendo un almacenamiento inicial antes de su infiltración total. No hay descarga de agua hacia los sistemas de drenaje convencionales. La Figura 10.18 muestra un esquemático de los componentes de este sistema.

10.8.2.2 Infiltración parcial

Se usa en suelos con mediana capacidad de permeabilidad. Permite que una cantidad fija de agua se infiltre y que el exceso de agua sea retenido inicialmente en la subbase permeable y conducida a otros sistemas de drenaje sostenible o al sistema al convencional de alcantarillado mediante tubería perforada, reduciendo de esta forma el volumen y la velocidad de la escorrentía. La Figura 10.19 muestra un esquemático de los componentes de este sistema.

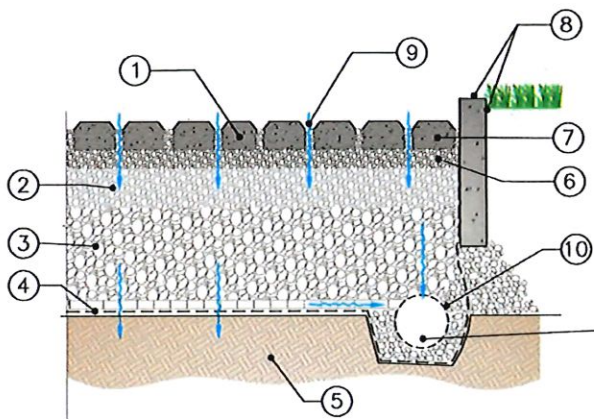
10.8.2.3 Sin infiltración

Se usa en suelos donde la permeabilidad es baja o hay presencia de contaminantes. Esta técnica requiere el empleo de una geomembrana, que se coloca en la parte superior de la subrasante y a los lados de la subbase permeable, para permitir la captura completa del agua de lluvia a manera de tanque de almacenamiento. Se descarga lentamente hacia otros sistemas de drenaje sostenible o al sistema al convencional de alcantarillado mediante tubería perforada, reduciendo de esta forma el volumen y la velocidad de la escorrentía. Esta técnica está especialmente indicada para lugares contaminados ya que evita que los contaminantes lleguen a la subrasante donde podrían alcanzar las aguas subterráneas. La Figura 10.20 muestra un esquemático de esta técnica.



1. Adoquines de hormigón (puede ser concreto poroso, asfalto poroso o cualquier otro pavimento permeable)
2. Base de 100 mm (4 pulg.) profundidad mínima con agregado AASHTO # 57
3. Subbase de agregado AASHTO # 2 (profundidad varía dependiendo del diseño)
4. Geotextil en el fondo y lados de la base y subbase (opcional)
5. Suelo nativo sin compactar con cero pendiente
6. Cama de material selecto y filtrante (AASHTO #8)
7. Espesor mínimo de pavimento permeable dependerá del material utilizado
8. Encintado o muro restringente con aberturas para dejar salir el flujo excedente
9. Material selecto y filtrante (AASHTO #8) para rellenar las uniones y juntas

Figura 10.18 Sistema de pavimento permeable diseñado con infiltración total. El suelo nativo tiene la capacidad de infiltración requerida de 2.54 cm/hr (1 pulgada/hr) o más.



1. Adoquines de hormigón (puede ser concreto poroso, asfalto poroso o cualquier otro pavimento permeable)
2. Base de 100 mm (4 pulg.) profundidad mínima con agregado AASHTO # 57
3. Subbase de agregado AASHTO # 2 (profundidad varía dependiendo del diseño)
4. Geotextil en el fondo y lados de la base y subbase (opcional)
5. Suelo nativo con pendiente para drenar
6. Cama de material selecto y filtrante (AASHTO #8)
7. Espesor mínimo de pavimento permeable dependerá del material utilizado
8. Encintado o muro restringente con aberturas para dejar salir el flujo excedente
9. Material selecto y filtrante (AASHTO #8) para rellenar las uniones y juntas
10. Tubos perforados separados y con pendiente para drenar el agua almacenada
11. Tubo(s) de salida con pendiente descargando por gravedad hacia pluvial existente o punto de descarga.

Figura 10.19 Sistema de pavimento permeable diseñado para infiltración parcial. El suelo nativo no tiene la capacidad de infiltración requerida de 2.54 cm/hr (1 pulgada/hr) o más.

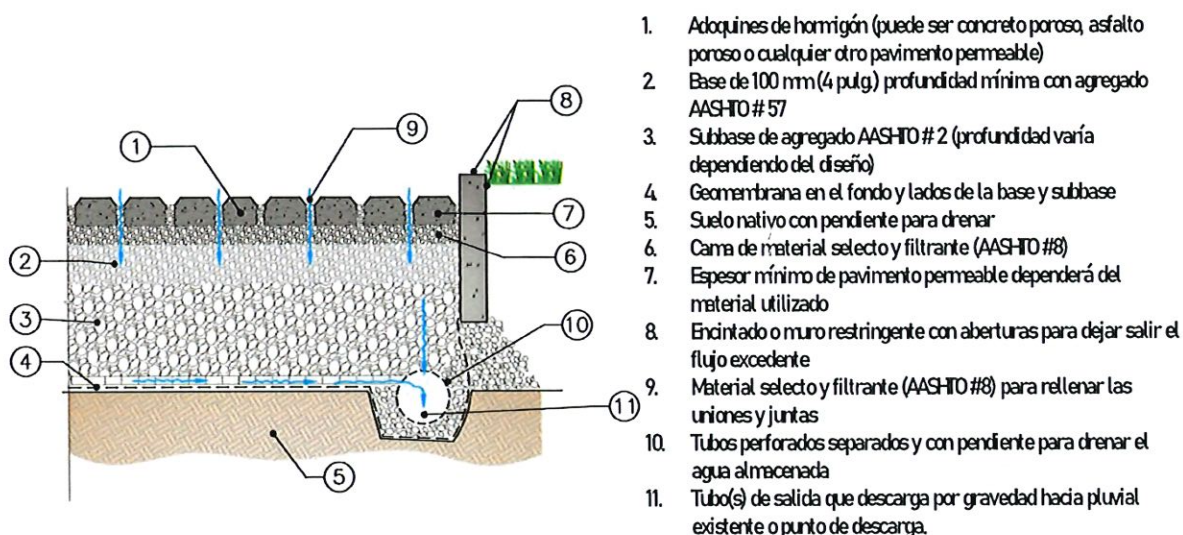


Figura 10.20 Sistema de pavimento permeable diseñado sin infiltración provisto de una geomembrana y tubería perforada

10.8.3 Componentes de pavimentos permeables

De forma simplificada se dividen en dos componentes: el componente superficial que corresponde al tipo de superficie que se usa en la parte superior del pavimento y el componente de almacenamiento donde se recogen las aguas infiltradas y que corresponde a la subbase del pavimento.

10.8.3.1 Tipos de componente superficial

Se describen a continuación tres tipos de superficies usadas como pavimento permeable: 1) asfalto u hormigón poroso, 2) adoquines de hormigón u otro material con capacidad para soportar carga, 3) césped/gravilla con refuerzo de hormigón o de plástico

10.8.3.1.1 Asfalto y hormigón porosos

En comparación con el asfalto convencional y denso, el **asfalto poroso** contiene una baja cantidad de relleno fino, es decir, de tamaño menor a 0.075 mm (0.003 pulgadas). La Figura 10.21 muestra una comparación entre ambos tipos de asfalto. El asfalto permeable debe tener entre un 15 y 25 por ciento de espacio poroso. Se deben añadir polímeros al aglutinante asfáltico y fibras de polímero para mejorar la unión, y así, garantizar la integridad y evitar la migración de los componentes. Además, se deben utilizar tamaños de material particulado lo suficientemente grande que garantice que las aberturas restantes permitan la infiltración, incluso si se produce alguna migración. Para el asfalto



Figura 10.21 Comparación entre asfaltos poroso y convencional en un área de estacionamiento para vehículos. A) Asfalto convencional. Nótese la capa de agua depositada sobre el pavimento. B) Asfalto poroso. No acumula agua en la superficie.

poroso, la cantidad de aglutinante necesaria es de aproximadamente 6% en peso, que es mayor a lo requerido para las mezclas de asfalto convencionales.

El **hormigón poroso** tiene un aspecto más grueso que su contraparte convencional según se muestra en la Figura 10.22. Se crea mezclando agua y materiales similares al cemento en una pasta que forma un recubrimiento grueso alrededor de las partículas agregadas. Esta mezcla contiene poca o ninguna arena y forma un sistema de vanos interconectados altamente permeables que drenan rápidamente. Se logra una razón de vanos de 15 a 25 por ciento en el hormigón endurecido, lo que permite razones de infiltración promedio de sobre 12 mm/hr (0.5 pulgadas/hr). El hormigón poroso utiliza grava de granos más grandes y una relación agua-cemento más baja que el hormigón convencional, para lograr una superficie granular que se compacta con rodillo.

10.8.3.1.2 Bloques y adoquines de hormigón

Los bloques y adoquines permeables de hormigón se utilizan en unidades de pavimentación impermeable y se instalan típicamente sobre una base de grava como se muestra en la Figura 10.23. Los espacios vacíos se crean biselando las esquinas de cada bloque o ensanchando el espacio entre ellos, reduciendo la impermeabilidad efectiva del pavimento convencional.

10.8.3.1.3 Pavimentación con césped/gravilla con refuerzo

Las opciones de pavimentación de césped incluyen bloques modulares o rejillas, rejillas de hormigón fundido en el lugar y tecnologías de mejora del suelo. La pavimentación de grava es otra opción

relacionada. Todos estos métodos aumentan el soporte de carga del terreno, permiten el tráfico de peatones y vehículos y un crecimiento saludable de la hierba. La Figura 10.24 muestra algunos tipos.



Figura 10.22 Hormigón poroso para aceras o rampa para vehículos. a) hormigón convencional, b) hormigón poroso.



Figura 10.23 Bloques y adoquines de hormigón para pavimento permeable.



Figura 10.24 Pavimentación con césped o gravilla con refuerzo

Los bloques modulares de pavimentación en césped consisten en unidades entrelazadas de hormigón, o plástico, que proporcionan estabilidad estructural y resisten la compactación, mientras que los espacios plantados con césped permiten la infiltración. Algunos bloques también pueden llenarse de grava y dejarse sin plantar. A menudo se añade una base de arena y grava para fomentar la infiltración y evitar asentamientos diferenciales.

Las rejillas de hormigón fundido en el lugar incorporan espacios que se rellenan de suelo común y pasto para permitir un drenaje libre a la vez que proporcionan capacidad estructural para manejar la mayoría de las cargas de vehículos. Cuando se refuerza con malla de alambre, esta opción proporciona una superficie fuerte y evita el asentamiento diferencial que a veces se experimenta con los adoquines. Sin embargo, la instalación es más laboriosa que la de los adoquines modulares prefabricados.

Los sistemas de rejilla de plástico, a menudo hechos de materiales reciclados, permiten al agua percolar gradualmente. Algunos están diseñados para ser llenados en la parte superior con grava o material agregado selecto, mientras que otros están llenos de una mezcla de arena/suelo sobre una mezcla de agregado/suelo que permite crecer hierba en la superficie. Las rejillas soportan vehículos pesados y a menudo se utilizan para estacionamientos, campos de golf, campos recreativos y otras áreas donde la estética de la superficie es importante.

10.8.4 Componentes de Almacenamiento (Subbase)

La sección del pavimento permeable donde se almacena el agua de escorrentía la constituye principalmente la subbase. Este es también el principal elemento para soporte de carga. Específicamente sus funciones son:

- Distribuir las aguas pluviales al nivel donde puede ser tolerada por la subrasante.
- Drenar lateralmente el agua que se infiltra a través de la superficie del pavimento.
- Servir como barrera capilar que impide que el agua se mueva hacia arriba en la base del pavimento.
- Asegurar la integridad estructural del pavimento.

La subbase puede consistir en grava selecta o roca, cuya gradación es un equilibrio entre la integridad estructural (rigidez) de la subbase y el manejo de las aguas pluviales (permeabilidad y capacidad de almacenamiento). La subbase de grava, o roca, y los tanques típicamente son recubiertos por un geotextil y ubicados sobre una capa de arena que tiene una doble función: soporte estructural para la capa superficial y filtrado de partículas finas. Una alternativa a la grava, o a la roca, es la provisión de cámaras, o cajas, que se refuerzan estructuralmente para soportar las cargas de tráfico. Numerosas compañías ofrecen productos modulares para diversas aplicaciones de pavimentos porosos.

La subbase puede estar seguida por una subrasante mejorada, o estabilizada, si las propiedades estructurales del suelo son insuficientes. La atenuación del volumen y del caudal de las aguas pluviales depende de la capacidad de almacenamiento disponible, el tamaño del área de pavimento permeable en relación con el tamaño del área de captación, la capacidad del embalse, la profundidad y composición de la subbase, la conductividad hidráulica de los subsuelos y la presencia de controles de flujo.

10.8.5 Aplicaciones de Pavimentos Permeables

Los sistemas de pavimento permeables son ideales para sitios pequeños donde la detención superficial y el tratamiento de aguas pluviales se ven obstaculizados por limitaciones de espacio, o donde la reducción del volumen de escorrentía es un parámetro de diseño importante. Son particularmente útiles en áreas de alta densidad con espacio limitado para otros sistemas LID. Estos sistemas se pueden utilizar en nuevos desarrollos, reacondicionamientos y áreas de reurbanización.

El pavimento permeable es adecuado para áreas de tráfico de baja velocidad y bajo volumen, tales como:

- Carreteras de bajo tráfico, calles locales y caminos
- Estacionamientos para vehículos livianos
- Carriles de estacionamiento residencial
- Paseos, carriles de parada de emergencia en autopistas y carreteras
- Senderos para peatones y bicicletas

- Aceras y entradas de vehículos a residencias
- Caminos para vehículos recreativos
- Carreteras de servicio, de mantenimiento o carriles de incendios

Además de ser utilizados para manejo de la precipitación directa, los pavimentos permeables pueden servir como vía de drenaje para escorrentía proveniente de áreas adyacentes, como techos o áreas de estacionamiento impermeables. También son adecuados para proyectos de reutilización de agua de lluvia.

En general, los sistemas de pavimento permeables se pueden utilizar casi en cualquier lugar donde se haya instalado un sistema tradicionalmente pavimentado. Sin embargo, estos sistemas tienen las mismas limitaciones de sitio de cualquier práctica de infiltración y deben cumplir los siguientes criterios.

10.8.5.1 Topografía del sitio

La pendiente de la superficie del pavimento permeable debe ser al menos 1 % y no superior a 5 %. La superficie impermeable que rodea y drena en el pavimento no debe exceder una pendiente de 20%. Las superficies permeables no deben drenar sobre el pavimento.

10.8.5.2 Nivel freático

La base del depósito de piedra del pavimento permeable debe estar al menos un (1) metro (3.25 pies) por encima del nivel freático máximo anual o elevación tope del nivel de roca.

10.8.5.3 Suelos

Los sistemas situados en suelos de baja permeabilidad con una tasa de infiltración inferior a 25.4 mm/hr (1 pulgadas/hr) (conductividad hidráulica inferior a 7.1×10^{-4} cm/s (2.78×10^{-4} pulgadas/s)), requieren la incorporación de un drenaje inferior con tubería perforada. La tasa de infiltración de suelos nativos en la ubicación y profundidad propuestas debe confirmarse mediante la medición de la conductividad hidráulica en condiciones saturadas de campo utilizando métodos estandarizados.

10.8.5.4 Área de captación y volumen de escorrentía

En general, la contribución del área de captación impermeable no debe exceder 1.2 veces el área de pavimento permeable que recibe la escorrentía. La capacidad de almacenamiento bajo el pavimento permeable debe ser dimensionada para acomodar la escorrentía del área del propio pavimento y demás áreas impermeables.

10.8.5.5 Áreas susceptibles a contaminación

Para proteger las aguas subterráneas de posible contaminación, el pavimento permeable no debe ser utilizado en áreas donde los usos de terrenos o las actividades humanas tengan el potencial de generar escorrentías altamente contaminadas (por ejemplo, áreas de combustible, mantenimiento y servicio para vehículos, áreas de almacenamiento y manipulación de materiales peligrosos y algunos sitios de la industria pesada).

10.8.5.6 Estabilidad estructural

En la mayoría de los casos, la profundidad del material agregado necesario para el depósito de almacenamiento de aguas pluviales excederá la profundidad necesaria para la estabilidad estructural recomendada en las guías y normas de los pavimentos tradicionales. En aplicaciones que estarán sujetas a cargas muy pesadas es posible que se deban instalar rejillas de refuerzo para el material de base.

10.8.5.7 Tráfico de vehículos pesados

El pavimento permeable no se utiliza normalmente en lugares sujetos a cargas pesadas. Sin embargo, algunos pavimentos permeables están diseñados para cargas pesadas y se han utilizado en áreas comerciales de carga y almacenamiento de puertos.

10.8.5.8 Separación de edificios y estructuras

Si el pavimento no recibe escurrimiento de otras superficies, no se requiere ninguna separación de los cimientos de construcción. La pendiente del pavimento debe comenzar desde los cimientos del edificio. Si hay otras superficies del edificio drenando, se recomienda una separación mínima de cuatro (4) metros (13 pies) con pendiente descendiente desde los cimientos del edificio.

10.8.5.9 Proximidad a servicios o utilidades subterráneas

Se debe consultar la guía de diseño de utilidades (alcantarillado sanitario, agua potable, electricidad, teléfono, etc.) para definir las distancias horizontales y verticales. Por lo general, los requisitos para los servicios públicos soterrados que pasan por debajo o cerca del pavimento permeable no serán diferentes de los servicios públicos en otras áreas permeables. Sin embargo, el pavimento permeable tiene una base más profunda que el pavimento convencional lo cual puede afectar a los servicios públicos poco profundos.

10.8.6 Consideraciones de Diseño para Pavimentos Permeables

Estos sistemas pueden ser diseñados para infiltrar tormentas de recurrencias mayores. Algunas consideraciones adicionales son:

- Documentar el porcentaje de vanos cuando se utilizan pavimentos permeables
- Los sistemas de pavimento permeable deben diseñarse para drenar en un periodo máximo de 48 horas.
- Si la tasa de infiltración de los suelos nativos debajo de un sistema de pavimento permeable es menor a 25.4 mm/hr (1 pulgada/hr) deberá incluirse un sistema de drenaje soterrado en el diseño.
- La distancia desde la parte inferior de la superficie del pavimento permeable y el nivel freático máximo no puede ser menor a 30 cm (1.0 pie).
- Se requiere mantenimiento continuo de los sistemas de pavimento poroso para garantizar la continuidad del funcionamiento.

A continuación, se mencionan otras consideraciones de diseño.

10.8.6.1 Elementos de protección (pretratamiento)

En la mayoría de los diseños de pavimento permeables, la superficie actúa como pretratamiento al depósito de piedra de abajo. Las medidas periódicas de barrido al vacío y preventivas, como no almacenar otros materiales en el pavimento, son fundamentales para evitar obstrucciones y mantener la eficiencia de esta práctica. Otro elemento de pretratamiento es una capa de grava fina por encima del depósito de almacenamiento de grava gruesa.

10.8.6.2 Depósito de piedra/grava

El depósito de piedra debe estar diseñado para cumplir con los requisitos de almacenamiento de escorrentía y soporte estructural. Se recomienda limpiar la piedra para reducir obstrucciones prematuras en el suelo nativo. El fondo del depósito debe ser plano para que la escorrentía sea capaz de infiltrarse uniformemente a través de toda la superficie. Si el sistema no está diseñado para la infiltración, la parte inferior debe inclinarse entre el 1 y el 5% hacia el drenaje inferior. Un diseño híbrido puede incluir la conexión de un desagüe de techo directamente al depósito de piedra del sistema de pavimento permeable, que se dimensiona para almacenar escorrentía tanto de la superficie del pavimento como de la zona de drenaje del techo.

10.8.6.3 Restricciones en la orilla

La selección de la restricción para las orillas es fundamental para el rendimiento satisfactorio de los pavimentos permeables. También es preferible que, las áreas donde se espera la presencia de sedimentos o residuos vegetales drenen lejos del pavimento permeable, particularmente hormigón o asfalto permeable, para evitar que los poros se tapen rápidamente. Sin embargo, los adoquines permeables pueden ser utilizados alrededor de la base de un árbol para promover acceso del agua sus raíces y la ventilación del suelo.

10.8.6.4 Área de pavimento requerido

El área de pavimento permeable necesaria para capturar el volumen de diseño se determinará calculando el área necesaria para alcanzar el volumen a la altura máxima, teniendo en cuenta la capacidad de almacenamiento disponible entre los espacios vacíos en la grava. La porosidad de la mezcla de grava usada para almacenar el agua es típicamente 0.4. Si la altura máxima para almacenar es h , entonces el área de pavimento permeable, A_{pp} , requerida para almacenar un volumen V_{alm} será

$$A_{pp} = \frac{V_{alm}}{0.4h} \quad (10.1)$$

10.8.6.5 Consideraciones de construcción

La construcción del pavimento permeable es un proyecto especializado y debe involucrar a contratistas experimentados. Se aplican las siguientes recomendaciones generales:

- Control de sedimentos: El área de tratamiento debe estar totalmente protegida durante la construcción para que ningún sedimento llegue al sistema de pavimento permeable. Una vez instalado el pavimento permeable, el tráfico de la construcción debe bloquearse del pavimento y de sus áreas de drenaje, manteniendo los controles adecuados de erosión y sedimentos.

- Instalación del pavimento: La instalación del pavimento permeable requiere materiales de construcción adecuados, instalados por contratistas capacitados y con experiencia en este tipo de pavimentos.

SECCIÓN 10.9 CAUCES NATURALIZADOS

Los canales naturalizados son componentes de un sistema de manejo de aguas pluviales para reemplazar tuberías o estructuras pluviales o para evitar la erosión en drenajes existentes. Generalmente conducen escorrentía frecuente o continua (flujo base), incluso durante períodos de poca o ninguna precipitación. El flujo base en estos canales es el resultado del riego residencial y el uso de agua al aire libre.

10.9.1 Descripción de los cauces naturalizados

Los cauces naturalizados se utilizan a menudo como reemplazos para colectores de alcantarillado pluvial. A medida que se produce más desarrollo aguas arriba, se observa un aumento de los flujos de base en estos drenajes. Estos cauces naturalizados son generalmente vistos como excelentes mejoras paisajistas para las comunidades circundantes proporcionando refugio para aves y vida silvestre en el área.

Los cauces naturalizados son típicamente más grandes que las zanjas o canales vegetados, requieren de un diseño más técnico que los humedales naturales y en algunos casos pueden parecer similares a pequeñas quebradas o caños. Las velocidades de escorrentía urbana y aguas pluviales se disminuyen utilizando vegetación natural, incrementando la rugosidad a lo largo de la trayectoria de flujo y con estructuras de caída. Además, el contacto prolongado con las aguas pluviales con materiales naturales promueve el ciclo hidrológico a través de la evaporación y transpiración. Los cauces naturalizados generalmente se pueden alinear con los límites de propiedad y servidumbres.

Cuando las pendientes longitudinales superan el 1%, se recomienda utilizar estructuras de caída para reducir las velocidades de flujo y gradientes hidráulicos. Los principales mecanismos de manejo de aguas pluviales en cauces naturalizados incluyen:

- Velocidades más lentas a través de la rugosidad del canal y estructuras de caída; y
- Evapotranspiración en la superficie y absorción por parte de la vegetación.

10.9.2 Aplicación de los cauces naturalizados

Los cauces naturalizados se ubican típicamente cerca de la salida aguas abajo de una cuenca desarrollada ya que requieren un flujo base continuo para mantener la salud de los humedales y la vegetación ribereña y evitar la aparición de estancamientos de agua. Se pueden implementar como medida de reacondicionamiento para reemplazar troncales colectores de escorrentías pluviales sobrecargados o para la restitución de pequeños arroyos o quebradas erosionadas, o como parte de desarrollos nuevos o áreas con potencial de desarrollos.

Los cauces naturalizados deben diseñarse para adaptarse a las características únicas de drenaje, topografía y desarrollo de cada sitio, pero no deben implementarse en áreas con topografía muy plana

o empinada. El diseñador es responsable de garantizar que las características físicas del sitio permitan acondicionar el canal y que el mismo mejore el funcionamiento hidráulico previo del sistema, así como la estética del sistema de manejo de escorrentías pluviales de la zona.

10.9.3 Limitaciones de los cauces naturalizados

Los cauces naturalizados son poco prácticos de implementar en áreas con topografía muy plana o empinada:

- Pueden estar sujetos a erosión debido a grandes volúmenes de flujo o altas velocidades durante eventos de lluvia mayores;
- Requieren un espacio considerable, lo que puede impedir su implementación en sitios altamente desarrollados;
- Se debe evaluar el potencial de inundaciones repentinas del lugar para garantizar la seguridad pública cuando el canal propuesto incluya áreas con acceso a peatones.
- La viabilidad se reduce cuando el canal corre a lo largo de las carreteras con cruces sobre cauces.

10.9.4 Consideraciones de diseño

Los cauces naturalizados requieren un flujo base continuo para satisfacer todas las pérdidas debidas a la evaporación, transpiración y filtración. El diseño puede incorporar características naturales existentes como humedales, drenajes y zonas de recarga, siempre y cuando se tome cuidado para mantener patrones naturales y evitar la sedimentación o deposición de contaminantes. Los suelos deben ser capaces de mantener el crecimiento de la vegetación, y con la vegetación presente, soportar los flujos de eventos de lluvia grandes.

Los diseños de cauces naturalizados deben tener capacidad para conducir al menos el evento de tormenta de 2 años con velocidades no erosivas. Cuando las pendientes longitudinales superen el 1%, se deben utilizar estructuras de caída para reducir las velocidades de flujo y mantener pendientes planas. En cada caso, se requiere al diseñador modelar el cauce naturalizado propuesto integrándolo con el sistema existente/propuesto para demostrar la funcionalidad de este.

Otras consideraciones para el diseño y la adaptación de cauces naturalizados para garantizar la seguridad y la funcionalidad a largo plazo son las siguientes:

- Diseñar y localizar facilidades para el acceso peatonal y proporcionar medidas de seguridad adecuadas para las profundidades de flujo y velocidades previstas;
- Diseñar el perfil vertical de la vegetación situada a lo largo de las carreteras o intersecciones cercanas para evitar interferir con la visibilidad de los conductores;
- Seleccionar la vegetación para soportar estructuralmente velocidades de flujo moderadas y fuerzas erosivas de los eventos de diseño;
- Seleccionar la vegetación para que resista y prospere en condiciones de inundaciones recurrentes;

- Seleccionar la vegetación para las pendientes laterales para soportar ciclos de sequía e inundaciones.

SECCIÓN 10.10 TECHOS VERDES

Los techos verdes consisten en vegetación natural establecida en la parte superior de los edificios y otras estructuras. Hay dos tipos de techos verdes: extensivos e intensivos. Un techo verde extensivo tiene una capa de suelo relativamente delgada, aproximadamente 50 a 150 mm (2 a 6 pulgadas), y resistente a las duras condiciones de un techo. Un techo verde intensivo tiene profundidades de suelo de al menos 300 mm (12 pulgadas) y puede incluir arbustos y árboles. Los techos verdes intensivos se utilizan a menudo como espacios verdes públicos. Ambos tipos de techo verde consisten en una serie de capas como se ilustra en la Figura 10.25.

10.10.1 Descripción de Techos Verdes

Los techos verdes son una práctica de manejo de aguas pluviales que utiliza vegetación superpuesta en los techos para retrasar y retener las escorrentías. También ofrecen beneficios de sombra y aislamiento térmico que se traducen en un menor consumo de energía.

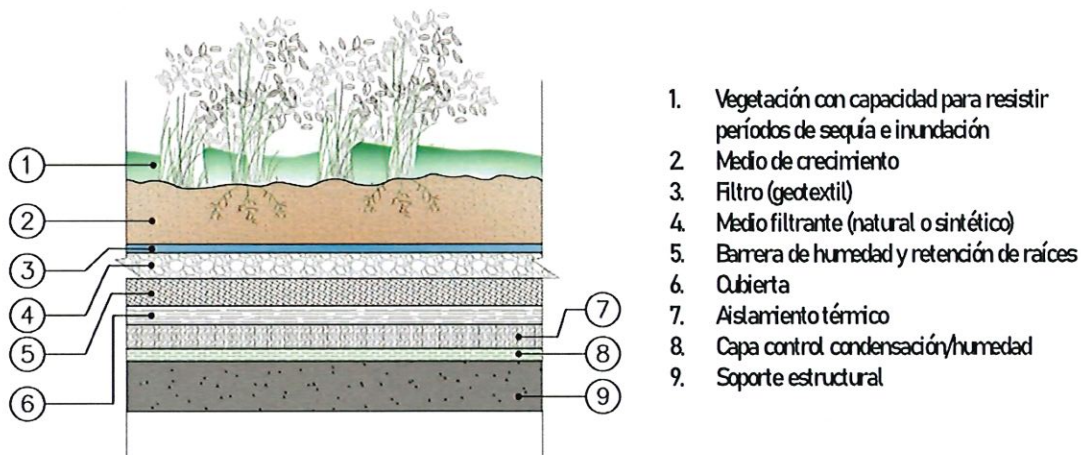


Figura 10.25 Capas para el diseño de techos verdes.

Una cubierta verde típica consta de varias capas que sobrepasan la estructura del techo. Estas capas son: vegetación, medio de cultivo, filtro de drenaje, capa de drenaje, barrera de raíz, membrana impermeable de techo, placa de cubierta, aislamiento térmico, barrera de vapor y soporte estructural, como se muestra en la Figura 10.25.

La cantidad de lluvia retenida en un techo verde, entre el 70% y 90% de la precipitación anual que reciben, depende de la profundidad del medio de cultivo y la pendiente del techo. Los techos verdes proporcionan sombra a las superficies subyacentes, reduciendo la transmisión de calor al edificio y reduciendo eficazmente los costos de refrigeración hasta en un 25%. Además, el proceso de

evapotranspiración de la vegetación reduce la temperatura del aire circundante, reduciendo el efecto de calor urbano. Los techos verdes también proporcionan espacio verde urbano y hábitat para aves e insectos.

10.10.2 Aplicaciones de Techos Verdes

Los techos verdes pueden diseñarse como parte de una construcción nueva o pueden instalarse como un reacondicionamiento después de una evaluación estructural. Son adecuados para su instalación en una amplia gama de edificios, incluyendo instalaciones industriales, educativas y gubernamentales, oficinas, propiedades comerciales y residencias. Generalmente, los edificios con grandes áreas de techo adecuados para el manejo de escorrentías pluviales.

La selección de techos verdes, entre intensivos o extensivos, dependerá de la ubicación y la función deseada del techo. Los techos verdes extensivos son más livianos, por lo general requieren poco o ningún soporte estructural adicional lo que los convierte en una opción más económica para el reacondicionamiento de estructuras existentes, mientras que un nuevo edificio puede estar diseñado específicamente para el peso adicional de un techo verde intensivo. Los techos verdes se pueden diseñar en muchos tipos de techos. Sin embargo, cuando la pendiente del techo sea superior a 20 grados, deberá proporcionarse protección contra el deslizamiento y la caída de la capa vegetal. Los techos más inclinados pueden retener menos aguas pluviales que un techo más plano equivalente.

En general, los techos verdes intensivos son más adecuados para techos más planos (5 grados o menos) y pueden diseñarse de forma similar a un jardín convencional o parque. A menudo se instalan para reducir costos de energía y proporcionar un ambiente estéticamente agradable. Dado que los techos verdes intensivos son más pesados que los extensivos, requieren más soporte estructural para manejar el peso del medio de cultivo adicional y el uso público, lo que resulta en una mayor inversión inicial. Pueden tener mayores requisitos de mantenimiento, incluida la necesidad de sistemas de riego. Sin embargo, son candidatos ideales para áreas densas y urbanizadas que tienen poco o ningún espacio disponible para siembra a nivel del suelo.

10.10.3 Limitaciones de Techos Verdes

Los siguientes son aspectos que introducen ciertas

- Los costos de construcción de los techos verdes son altos en comparación con los tratamientos de los techos tradicionales.
- Sólo se intercepta la lluvia directa.
- El control de costos de mantenimiento y operación a menudo es responsabilidad del propietario o de la administración del edificio o estructura.

10.10.4 Consideraciones de Diseño

Los diseños de techos verdes deben incluir una evaluación estructural realizada por un ingeniero estructural para garantizar que la capacidad de carga estructural del edificio pueda soportar el techo verde. Para maximizar los beneficios del techo verde, las implicaciones de refrigeración para el

edificio deben tenerse en cuenta en el diseño. Como mínimo, los diseños de techos verdes deben proporcionar riego durante el período de establecimiento de vegetación.

El diseño del techo verde también debe incorporar un sistema de drenaje para manejar los desbordamientos de agua. El sistema de drenaje evita daños y erosión del medio de crecimiento durante lluvias fuertes, manteniendo condiciones óptimas de crecimiento. El drenaje adecuado también ayuda a preservar la estructura del techo.

Estos parámetros deben tenerse en cuenta en el proceso de diseño preliminar. Los detalles de las capas de techo verdes, incluido el tipo de material, el peso saturado, la instalación, el mantenimiento y las pruebas, deben especificarse en el diseño del techo verde y se guiarán por la consideración de estos parámetros críticos.

El riego de techos verdes debe ser cuidadosamente considerado durante el diseño para asegurar que el agua de riego no ocupará el espacio de almacenamiento de suelo disponible para el próximo evento de lluvia. Un modelo hidrológico continuo o un sistema de controladores automáticos de aspersores basados en la humedad del suelo o en la evapotranspiración disponibles comercialmente deben garantizar el suministro de agua de riego que permita un manejo adecuado del agua de lluvia. Para reducir la dependencia de los suministros de agua potable, se puede obtener agua para el riego del techo verde de una cisterna que recoja el exceso de escorrentía en la azotea.

Un sistema electrónico de detección de fugas también puede ser considerado durante el proceso de diseño para ayudar a proteger el techo de daños por humedad. Además, un sistema electrónico de detección de fugas puede proporcionar una alerta temprana de problemas de mantenimiento.

SECCIÓN 10.11 RECOGIDO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS DE LLUVIA

Esta medida LID consiste en la recolección de agua de lluvia que cae en un tejado y almacenamiento para su reutilización en riego u otros usos no potables permitidos. La recolección de agua de lluvia puede ser tan simple como recoger agua de lluvia de los bajantes del techo en un barril y usarla para regar jardineras y patios. A mayor escala, el agua de lluvia puede recogerse en una cisterna grande ubicada bajo tierra, o en un garaje o sótano, y luego reutilizarse para el riego con una conexión directa a aspersores automáticos o de riego por manguera. La Figura 10.26 muestra un esquemático de un sistema colector de agua de lluvia para residencias.

10.11.1 Aplicaciones de Sistemas Recolectores de Aguas de Lluvia

El agua de lluvia se puede utilizar para el riego al aire libre, inodoros y el lavado de ropa. En Puerto Rico, la reutilización del agua de lluvia para el riego es permitida y la reutilización para el lavado de inodoros es cada vez más común.

La topografía, el uso de la tierra y la ubicación tienen impactos en el diseño y el rendimiento del sistema de recolección de agua de lluvia. La recolección de agua de lluvia más simple solo necesita de un barril de almacenamiento, un bajante de agua lluvia conectado y cualquier método manual para la extracción y uso de esta.

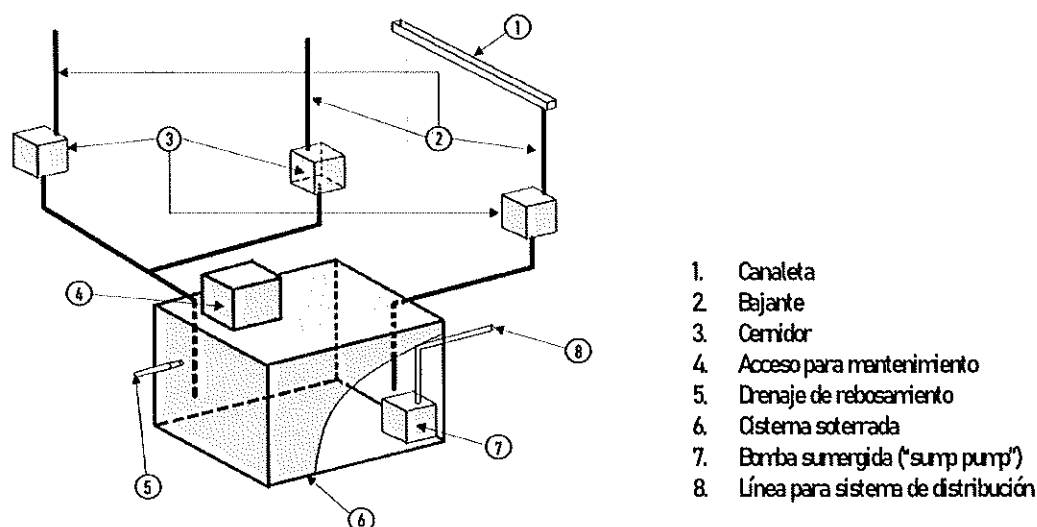


Figura 10.26 Sistema colector de agua de lluvia en una residencia.

Es probable que las cisternas de la azotea capturen menos agua de lluvia debido a limitaciones estructurales; sin embargo, la distribución basada en la gravedad a un sitio de reutilización es posible. Las cisternas enterradas requieren bombeo, pero almacenan más agua. Si es necesaria la instalación en terreno con pendiente, se requiere un análisis y diseño de ingeniería geotécnica y estructural. Los desbordamientos de cisternas enterradas deben ubicarse teniendo en cuenta la ubicación de la fundación. Los terrenos adyacentes aguas abajo del desbordamiento de cisterna enterrada, deben considerarse para evitar inundaciones, empozamientos, erosión o saturación del suelo. Los tanques deben estar herméticos e instalados al menos a 3 metros de separación de los cimientos del edificio. La ubicación de los servicios públicos y otros servicios debe tenerse en cuenta al colocar cisternas enterradas para evitar conflictos.

El agua de lluvia solo debe recogerse de las superficies del techo. Evite la recolección de agua de lluvia de áreas vehiculares o peatonales, escorrentía de aguas superficiales o agua estancada para evitar la introducción de contaminantes como sales, bacterias y metales. Los techos deben estar limpios de basura y escombros, por lo que la inspección y mantenimiento debe ser regular.

10.11.2 Limitaciones de Sistemas de Recolección de Agua de Lluvia

Los sistemas de reutilización de agua de lluvia a menudo requieren un suplemento de agua potable ya que en algunas regiones las precipitaciones no son lo suficientemente consistentes como para

abastecer todas las demandas de riego, o usos no potables, de manera oportuna y económica. En estos casos se debe observar las siguientes limitaciones.

- La instalación debe ser realizada por personal experimentado para evitar cualquier posibilidad de contaminación cruzada del sistema potable.
- Debido a la instalación en propiedad privada, el control de la operación y el mantenimiento suele estar fuera de la jurisdicción de los municipios.

10.11.3 Consideraciones de Diseño

Las características únicas del lugar deben tenerse en cuenta en el diseño del sistema de recolección de agua de lluvia basado en el conocimiento y el juicio profesional. Las cisternas deben ser diseñadas e instaladas por profesionales cualificados de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Se proporcionan las siguientes recomendaciones y criterios para ayudar en el diseño de instalaciones de recolección y reutilización de agua de lluvia.

- El volumen de agua de lluvia que puede recogerse de una superficie de techo debe determinarse para cada aplicación única en función de la huella del techo o del área exterior del techo (m^2 o pies cuadrados). Una superficie de techo es aproximadamente 75% eficiente en la recolección de agua de lluvia debido a la evaporación, abstracción y fugas; por lo que el volumen disponible para la captura de una superficie de techo se puede calcular utilizando la siguiente fórmula.

$$V_{ll} = \frac{0.75A_t D_p}{1000} \quad (10.2)$$

donde V_{ll} es el volumen de agua de lluvia disponible para la captura (m^3), A_t es el área de techo (m^2) y D_p es la profundidad media anual de lluvia (mm).

El volumen disponible para la recolección puede exceder, cumplir o no cumplir, con los requisitos de demanda basado en patrones de lluvia quincenales, el tamaño de la cisterna y otros usos de agua. El dimensionamiento de la cisterna requiere de un cuidadoso análisis por parte de un profesional cualificado de riego o ingeniería para garantizar que el tamaño y los costos de instalación sean adecuados para el volumen de captura y las demandas no potables.

Una cisterna puede estar conectada a una fuente de agua potable para la recarga en caso de que la demanda supere los volúmenes capturados. La recarga de agua potable debe tener una válvula de retención (“check valve”) para evitar que el agua de la cisterna pueda ingresar al sistema de agua potable.

- Los desbordamientos de cisterna deben ser dirigidos lejos de los cimientos del edificio para evitar inundaciones o daños en los cimientos durante grandes eventos.
- Opcionalmente, se puede incluir, como parte del diseño, un control para desviar los primeros 0.5 mm (0.02 pulgadas) de escorrentía (first flush diverter) durante el evento de lluvia para evitar obstrucciones y entrada de sedimentos al tanque de almacenamiento. Este aditamento requiere mantenimiento continuo.

- Se debe considerar la disponibilidad de agua de lluvia y las demandas utilizando un modelamiento de precipitación continua para determinar el tamaño óptimo de la cisterna.
- Las cisternas situadas dentro del edificio deben incluirse en los planos presentados para el permiso de construcción.
- Se deberán realizar pruebas de suelo para los sistemas soterrados.

SECCIÓN 10.12 REFERENCIAS

- [1] EPA, «Urban Runoff: Low Impact Development,» 7 October 2020. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>. [Último acceso: 24 10 2020].
- [2] EPA, «Green Infrastructure,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure>. [Último acceso: 6 10 2020].
- [3] PREQB y USDA-NRCS, «Puerto Rico Erosion and Sediment Control Handbook for Developing Areas,» NRCS, 2005.
- [4] J. R. Freeborn, D. J. Sample y L. J. Fox, «Residential Stormwater: Methods for decreasing runoff and increasing stormwater infiltration,» *Journal of Green Building*, vol. 7, n° 2, pp. 15-30, 2012.
- [5] J. Clary, M. Leisenring y S. Tillack, «Bioretention Performance Findings from the International Stormwater BMP Database,» de *Low Impact Developemnt Technology: Design Methods and Case Studies*, Philadelphia, 2015.
- [6] NRCS, «Urban Hydrology for Small Watersheds (TR-55),» United State Department of Agriculture, Washington, DC, 1986.

SECCIÓN 10.13 APÉNDICE 10.A - PRUEBA DE PERCOLACIÓN

Este procedimiento (adaptado de Low Impact Development Manual for Michigan [5]) para realizar la prueba de percolación consiste en excavar un agujero circular o cuadrado en las áreas donde se pretende localizar prácticas LID que dependen de la infiltración y percolación de las aguas en el terreno.

Equipo y materiales para la prueba de percolación:

- Pala de corte (agujero cuadrado), pala doble para postes o “auger” (agujero circular),
- Suministro de agua,

- Cronómetro,
- Regla o cinta métrica de metal,
- Hojas de registro para registrar datos,
- Cuchillo o instrumento puntiagudo (para escarificar el suelo),
- Objetos para marcar los puntos fijos de referencia durante la medición (clavo, palillo, etc.).

Procedimiento:

Se recomienda seguir los siguientes pasos.

1. Prepare el área de prueba nivelando el terreno.
2. Haga un agujero cuadrado de 15 a 25 centímetros (6 a 10 pulgadas) por cada lado o circular que tenga un diámetro uniforme de 15 a 25 centímetros (6 a 10 pulgadas) y una profundidad de 30 centímetros (12 pulgadas). El fondo y los lados del agujero deben escarificarse con un cuchillo o un instrumento puntiagudo para eliminar por completo cualquier superficie de suelo compactada y proporcionar acceso directo al suelo nativo para que el agua pueda infiltrarse. El material suelto debe retirarse del agujero.
3. Mida y registre el ancho del agujero, si es cuadrado, o el diámetro, si es un agujero circular. Este será el *largo característico*, l_c , del agujero de prueba que será utilizado en el cómputo de la tasa de percolación.
4. En cada agujero de prueba, coloque un objeto (clavo, palillo de madera, etc.) para marcar un punto de referencia a 15 cm (6 pulgadas) sobre el fondo del agujero (este será identificado como punto de referencia 1 o PR-1). Coloque otro objeto para marcar otro punto de referencia a 25 cm (10 pulgadas) sobre el fondo del agujero (este será identificado como punto de referencia 2 o PR-2).
5. Los agujeros de prueba deben saturarse con agua previo a realizar la prueba. Vierta agua en el agujero y espere a que el nivel de agua baje hasta el PR-1. Siga los siguientes pasos para completar el proceso de saturación.
 - a) Vierta nuevamente agua en el agujero llevando el nivel del agua hasta el PR-2. Reajustarse el nivel de agua al PR-2 exactamente cada 30 minutos (no importa si el agujero se ha vaciado completamente, espere 30 minutos antes de reajustar el nivel de agua). Haga esto dos veces durante una hora.
 - b) La caída en el nivel del agua durante los últimos 30 minutos del proceso de saturación se utilizará para determinar el intervalo de tiempo entre lecturas a utilizarse en la prueba de percolación para cada agujero de prueba. Determine el intervalo de tiempo dependiendo de los siguientes escenarios.
 - i. Si al final de los últimos 30 minutos queda agua en el agujero, el intervalo de lecturas durante la prueba de percolación será de 30 minutos.

- ii. Si al final de los últimos 30 minutos no queda agua en el agujero, el intervalo de lecturas durante la prueba de percolación será de 10 minutos, o menos de ser necesario.
6. Después del proceso de saturación, el nivel del agua en el agujero se ajustará nuevamente al PR-2 y se reajustará nuevamente después de cada lectura, cuando sea necesario. Para cada lectura, se registrará la caída del nivel del agua medida desde el PR-2.
7. La medición de la caída del nivel del agua en los agujeros de prueba individuales se hará desde el PR-2 como punto de referencia y continuará en el intervalo determinado para cada agujero de prueba individual hasta que se completen un mínimo de ocho (8) lecturas o hasta que se establezca la razón de caída del nivel de agua, lo que ocurra primero. Para determinar si la razón de caída del nivel de agua se ha estabilizado, se usarán las últimas cuatro lecturas consecutivas y se escogerán las lecturas mayor y menor, para calcular la diferencia. Una razón de caída estabilizada ocurre cuando esta diferencia es de 6.5 milímetros (aproximadamente 0.25 pulgada) o menos.
8. La caída que ocurre en el agujero de prueba durante el período final, expresada como centímetros por hora (cm/hr) (o pulgada/hr), representará la tasa de percolación para esa ubicación de prueba.
9. La tasa de percolación para cada agujero de prueba debe ajustarse para tomar en cuenta la pérdida de agua por los lados del agujero y para desarrollar una tasa de percolación representativa. La tasa de percolación de cada agujero debe ajustarse para obtener la tasa de percolación final de acuerdo con la siguiente fórmula.

$$\text{Tasa de percolación final} = \frac{\text{Tasa de percolación}}{FR} \quad (10.3)$$

donde el FR es el factor de reducción calculado como

$$FR = \frac{2d_{ini} - \Delta d}{l_c} + 1 \quad (10.4)$$

donde d_{ini} es la profundidad inicial del agua (cm), Δd es la caída final del agua (cm) y l_c es el largo característico (ancho o diámetro) (cm) del agujero de prueba.

El factor de reducción explica la exfiltración que se produce a través de los lados del orificio de percolación. Se presume que la tasa de percolación se ve afectada por la profundidad del agua en el agujero y que la superficie de percolación del agujero está en un suelo homogéneo. Si estas presunciones no se cumplen, pueden ser necesarios otros ajustes.

10. Promedie las tasas de percolación finales (tasas corregidas por el factor de reducción) para obtener una tasa de percolación representativa del lugar.

Adopción y Vigencia

Esta Junta de Planificación de Puerto Rico, **ADOPTA** este "Reglamento para el Diseño, Criterios de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Alcantarillados Pluviales de Puerto Rico" (Reglamento de Planificación Núm. 40), en su Reunión el 23 de noviembre de 2022, en San Juan, Puerto Rico al amparo y armonía de la Ley 75-1975 según enmendada, conocida como "Ley Orgánica de la Junta de Planificación de Puerto Rico. Este Reglamento comenzará a regir a los treinta (30) días después de su radicación en el Departamento de Estado, conforme a la Ley 38-2017, según enmendada, conocida como "Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme del Gobierno de Puerto Rico", según enmendada.

ADOPTADO, en San Juan, Puerto rico, hoy 23 de noviembre de 2022.



JULIO LASSÚS RUIZ
PRESIDENTE



REBECCA RIVERA TORRES
VICEPRESIDENTA Y
MIEMBRO ASOCIADO



JOSE DÍAZ DÍAZ
MIEMBRO ASOCIADO

CERTIFICO ADOPTADO, hoy 23 de noviembre de 2022.



GEORGINA GONZÁLEZ OLLER
SECRETARIA