



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un edificio con uso
eficiente de agua aplicando
criterios de certificaciones**

TESINA

Que para obtener el grado de
Especialista en Ingeniería Sanitaria

P R E S E N T A

Ing. Cruz Gervacio José Luis

DIRECTOR DE TESINA

Dr. Luis Antonio García Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Página en blanco

Diseño de un edificio con uso eficiente de agua aplicando criterios de certificaciones

Cruz Gervacio José Luis

Página en blanco

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico recibido durante mis estudios de especialidad y para el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por las oportunidades de crecimiento y desarrollo personal, académico y profesional.

A la Facultad de Ingeniería por desempeñar el papel principal en mi formación académica y profesional.

Al Dr. Luis Antonio García Villanueva, mi director de tesina, por su gran apoyo y guía a lo largo de mis estudios de especialidad. A mis sinodales, el Dr. Enrique César Valdez, el M.I. Cristian Emmanuel González Reyes, el Ing. Esp. Marco Antonio Luque García y el Ing. Esp. David Emmanuel Paz Lagunas por su revisión y comentarios a este trabajo.

Índice

Agradecimientos	V
Índice	VI
Lista de figuras	VIII
Lista de tablas	VIII
Lista de abreviaturas	XI
1. Generalidades	13
1.1 Introducción	13
1.2 Planteamiento del problema	13
1.3 Justificación del trabajo	15
1.4 Objetivos	15
1.5 Limitaciones	15
2. Marco teórico	16
2.1 Uso del agua en los edificios	16
2.2 Fuentes de agua	18
2.3 Demandas de agua	20
2.4 Calidades de las fuentes de agua	21
2.5 Las certificaciones de edificación sustentable	22
3. Metodología	24
3.1 Recopilación y análisis de información	26
3.2 Definición de objetivos y metas	28
3.3 Planteamiento de estrategias	29
3.3.1 Criterios del PCES	29
3.3.2 Créditos de LEED	33
3.4 Evaluación de estrategias	37
3.5 Uso y balance de agua en el edificio	37
4. Caso de estudio	40
4.1 Descripción general del proyecto	40
5. Resultados	45
5.1 Recopilación y análisis de información	45

5.1.1 Tipología del edificio	45
5.1.2 Zonificación de uso de suelo	45
5.1.3 Fuentes de agua disponibles	45
5.1.4 Demandas	45
5.1.5 Requerimientos de calidad	46
5.1.6 Clima	46
5.1.7 Características del suelo	46
5.1.8 Normatividad aplicable	46
5.2 Definición de objetivos y metas	49
5.3 Planteamiento de estrategias	49
5.3.1 Reducir la demanda	49
5.3.2 Utilizar fuentes de agua alternativas	53
5.3.3 Devolver el agua	57
5.3.4 Medir el agua	59
5.4 Evaluación de estrategias	62
5.4.1 Reducir la demanda	62
5.4.2 Utilizar fuentes de agua alternativas	63
5.4.3 Devolver el agua	65
5.4.4 Medir el agua	66
5.5 Uso y balance de agua en el edificio	68
5.5.1 Agua reducida	68
5.5.2 Agua compensada	78
5.5.3 Agua devuelta	83
5.6 Diseño de las instalaciones	85
5.6.1 Instalación hidráulica (IH)	85
5.6.2 Instalación Sanitaria (IS)	97
5.6.3 Sistema alternativo (SA) e instalación pluvial (IP)	103
5.6.4 Sistemas contra incendio (SCI)	117
6. Conclusiones	127
7. Referencias	129
Anexos	131
7.1 Normas nacionales e internacionales	131

Lista de figuras

Figura 2.1-1. Uso del agua en edificios habitacionales	17
Figura 2.2-1. Clasificación de fuentes de agua	19
Figura 2.5-1. Metodología	25
Figura 4.1-1. Planta tipo y distribución de espacios	41
Figura 4.1-2. Planta baja.....	42
Figura 4.1-3. Alzados.....	43
Figura 4.1-4. Isométricos del edificio.....	44
Figura 5.1-1. Temperaturas máxima, normal y mínima mensual.....	47
Figura 5.1-2. Precipitaciones media y máxima mensual y máxima diaria	47
Figura 5.1-3. Curvas IDTR.....	48
Figura 5.1-4. Análisis de eventos de lluvia	48
Figura 5.3-1. Consumos de muebles sanitarios.....	51
Figura 5.3-2. Diagrama de estrategias del edificio	61
Figura 5.5-1. Uso del agua en el edificio	77
Figura 5.5-2. Evaluación del SCALL.....	80
Figura 5.5-3. Comportamiento de la cisterna del SCALL.....	81
Figura 5.5-4. Generación de agua residual en el edificio	82
Figura 5.5-5. Reducción del uso del agua tradicional en el edificio	82
Figura 5.5-6. Volumen de lluvia escurrido.....	83
Figura 5.5-7. Balance hídrico del edificio (configuración eficiente)	84
Figura 5.6-1. Tren de tratamiento de aguas grises	103
Figura 5.6-2. Tren de tratamiento de aguas de lluvia.....	108
Figura 5.6-3. Curva de la bomba eléctrica del SCI.....	124
Figura 5.6-4. Curva de la bomba diésel del SCI	126

Lista de tablas

Tabla 2.2-1. Fuentes de agua.....	18
Tabla 2.3-1. Demandas de agua.....	20
Tabla 2.4-1. Características de la calidad del agua de diversas fuentes.....	21
Tabla 4.1-1. Características de tipo de departamentos.....	40
Tabla 5.3-1. Muebles sanitarios del proyecto.....	50
Tabla 5.4-1. Reducir la demanda: interiores (evaluación).....	62
Tabla 5.4-2. Reducir la demanda: exteriores (evaluación).....	63

Tabla 5.4-3. Utilizar fuentes de agua alternativas: agua de lluvia (evaluación).....	63
Tabla 5.4-4. Utilizar fuentes de agua alternativas: aguas grises (evaluación)	65
Tabla 5.4-5. Devolver el agua (evaluación).....	65
Tabla 5.4-6. Medir el agua (evaluación).....	66
Tabla 5.5-1. Proceso de Evaluación Técnica WaterSense.....	68
Tabla 5.5-2. Herramienta de Presupuesto de Agua WaterSense de la EPA	72
Tabla 5.5-3. Mes pico de riego	74
Tabla 5.5-4. Demanda de agua (interiores)	75
Tabla 5.5-5. Demanda de agua (exteriores)	76
Tabla 5.6-1. Dotación mínima de agua potable según la NTC.	85
Tabla 5.6-2. Dotación mínima de agua tratada según la NTC.....	86
Tabla 5.6-3. Cisternas de agua potable y tratada.	86
Tabla 5.6-4. Acometida agua potable municipal.....	87
Tabla 5.6-5. Unidades muebles (UM) del proyecto	87
Tabla 5.6-6. Líneas a departamentos tipo A1, B1 y C1 (agua potable)	88
Tabla 5.6-7. Líneas a departamentos A1, B1 y C1 (agua tratada).....	88
Tabla 5.6-8. Línea a áreas comunes (agua potable).....	89
Tabla 5.6-9. Línea a áreas comunes (agua potable).....	89
Tabla 5.6-10. Línea de alimentador (agua potable)	90
Tabla 5.6-11. Línea de alimentador (agua tratada)	90
Tabla 5.6-12. Demandas de AC para departamentos A1, B1 y C1.....	91
Tabla 5.6-13. Potencia de calentador para departamentos A1, B1 y C1.....	92
Tabla 5.6-14. Datos de calentador para departamentos A1, B1 y C1	92
Tabla 5.6-15. Líneas de agua caliente A1, B1 y C1	92
Tabla 5.6-16. CDT para suministros de agua	94
Tabla 5.6-17. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción AP.	95
Tabla 5.6-18. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción AT.	96
Tabla 5.6-19. Unidades muebles de descarga (UMD) del proyecto	97
Tabla 5.6-20. Gastos de descarga de aguas negras y grises.....	97
Tabla 5.6-21. Ramales horizontales y bajadas	99
Tabla 5.6-22. Líneas principales horizontales	99
Tabla 5.6-23. Diseño de BANs	99
Tabla 5.6-24. Diseño de BAGs.....	100
Tabla 5.6-25. Diámetros y longitudes de ventilación	100
Tabla 5.6-26. Diseño de CVAN	101
Tabla 5.6-27. Diseño de CVAG	101
Tabla 5.6-28. Datos de la PTAG para el proyecto	102
Tabla 5.6-29. Drenajes pluviales horizontales	104
Tabla 5.6-30. Bajadas pluviales	105
Tabla 5.6-31. Diseño de BAP	105
Tabla 5.6-32. Diseño de colector principal de AP	106
Tabla 5.6-33. Volumen de la cisterna del SCAL	106

Tabla 5.6-34. Cisternas de agua de lluvia	106
Tabla 5.6-35. Datos de la PTAG para el proyecto	107
Tabla 5.6-36. Áreas y volúmenes de aportación para PP1.....	111
Tabla 5.6-37. Áreas y volúmenes de aportación para PP2.....	112
Tabla 5.6-38. Altura máxima de agua en PP1 y PP2.....	112
Tabla 5.6-39. Áreas y volúmenes de aportación para SBR1	114
Tabla 5.6-40. Tiempo de percolado en SBR1	115
Tabla 5.6-41. Altura máxima de agua en SBR1	115
Tabla 5.6-42. Áreas y volúmenes de aportación para SBR2	115
Tabla 5.6-43. Tiempo de percolado en SBR2	116
Tabla 5.6-44. Altura máxima de agua en SBR2	116
Tabla 5.6-45. Componentes y características de la red de hidrantes	117
Tabla 5.6-46. Cisternas de PCI	118
Tabla 5.6-47. Longitudes equivalentes (en pies)	119
Tabla 5.6-48. Coeficientes “C” de Hazen-Williams.....	120
Tabla 5.6-49. Valores de f_1	120
Tabla 5.6-50. CDT para suministros de agua de PCI	120
Tabla 5.6-51. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción SCI.	121
Tabla 5.6-52. Determinación de la bomba eléctrica del SCI.	123
Tabla 5.6-53. Determinación de la bomba diésel del SCI.....	125

Lista de abreviaturas

Simbología Significado

AC	Agua Fría
AF	Agua Caliente
AG	Aguas Grises
ALL	Agua de Lluvia
AN	Aguas Negras
AT	Agua Tratada
BAG	Bajada de Aguas Grises
BAN	Bajada de Aguas Negras
CDT	Carga Dinámica Total
CEF	Código de Edificación y Vivienda
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CV	Cubierta Verde
CVAG	Columna de Ventilación de Aguas Grises
CVAN	Columna de Ventilación de Aguas Negras
DGEIRA	Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental
IDS	Índice de Desarrollo Social
IH	Instalación Hidráulica
IP	Instalación Pluvial
IS	Instalación Sanitaria
JLL	Jardín de Lluvia
LEED	Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible
LEED BD+C	LEED: Diseño y construcción de edificios
NDIE-IMSS	Normas de Diseño de Ingeniería Electromecánica del IMSS
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego de Estados Unidos
NTC	Normas Técnicas Complementarias del RCDF
NTC-	Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de
DEOIH	Obras e Instalaciones Hidráulicas
NTC-PA	Normas Técnicas Complementarias para el Proyecto Arquitectónico
PCES	Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables de la Ciudad de México
PP	Pavimento Permeable
PTAG	Planta de Tratamiento de Aguas Grises
PTALL	Planta de Tratamiento de Agua de Lluvia
RCDF	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal
SA	Sistema Alternativo
SACMEX	Sistema de Aguas de la Ciudad de México

SBR	Sistema de Biorretención
SCALL	Sistema de Captación de Agua de Lluvia
SCI	Sistema Contra Incendio
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México
SGAC	Sistema de Generación de Agua Caliente
SReIP	Sistema de Retención e Infiltración Pluvial
SuDS	Sistemas de Drenaje Sostenible
UM	Unidades Mueble
USGBC	Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos
YAS	Aprovechamiento Después de Derrame
YBS	Aprovechamiento Antes de Derrame

1. Generalidades

1.1 Introducción

En la actualidad, la gestión eficiente del agua se ha convertido en una preocupación crítica en todo el mundo. El agua en las edificaciones representa un componente esencial para el desarrollo de las actividades humanas. La creciente escasez de agua y la presión ejercida sobre el ambiente han generado una necesidad apremiante de repensar la forma en que se diseñan y operan los sistemas de agua en edificios. El presente trabajo pretende abordar este desafío mediante el diseño de las instalaciones de suministro y evacuación de agua, utilizando un enfoque de eficiencia del recurso en un caso de aplicación. Se analizará el impacto de la normatividad y los estándares de diseño en la implementación de prácticas eficientes. Además, se aplicarán estrategias de sistemas de calificación de edificación sustentable y se estimará la demanda y distribución del agua en un edificio.

1.2 Planteamiento del problema

La escasez del agua ha replanteado el enfoque en la gestión de este recurso. Uno de los aspectos más significativos de esta problemática es su estrecha relación con las edificaciones. El agua es un factor determinante en el desarrollo de nuestras actividades diarias, y en un mundo donde gran parte de estas actividades ocurren en edificaciones, este tipo de infraestructura tiene un impacto significativo en el uso y la disponibilidad del agua.

Los edificios representan una parte sustancial de la demanda de agua. De acuerdo con CONAGUA (2022), en México el volumen concesionado para el abastecimiento público en 2020 fue de 13,165 hm³. Esto es el segundo puesto de la clasificación de usos consuntivos, después del volumen concesionado para uso agrícola. Por otra parte, la disponibilidad de agua varía según su distribución. Esta relación entre el agua empleada en usos consuntivos respecto al agua renovable es el grado de presión sobre el recurso hídrico. Según CONAGUA (2022), en México (a escala nacional) en 2020 esta relación fue del 19.4%, considerado como bajo. Sin embargo, a una escala más pequeña (región hidrológica), la mayoría se encuentre con un grado de presión alto. La región XIII (Aguas del Valle de México), la de menor disponibilidad de agua, es la de mayor grado de presión, mayor al 100%, concretamente del 127.8%. El caso que ostenta la mayor severidad es el de la Ciudad de México con un 178% para el 2025 y 181.6% para 2030. En el 2020 fue de 93.2%.

La gestión del agua es un problema complejo, póngase de ejemplo a la Ciudad de México, que sufre un grave estrés hídrico y al mismo tiempo es propensa a

inundaciones periódicas. Y no sólo eso, los desafíos a los que se enfrenta son varios, según Chen y Bilton (2022), éstos incluyen: 1) el desajuste hidrológico (sobrexplotación de acuíferos locales, aumento de la dependencia en la importación de agua desde ubicaciones más remotas, subsidencia y la falta de mecanismos para abordar el cambio climático); 2) el deterioro de la infraestructura; 3) la deficiencia en la provisión de servicios en términos de calidad del agua y frecuencia del servicio; y 4) la ineficiencia institucional. De ahí la necesidad de implementar estrategias más sostenibles para el uso y aprovechamiento de los recursos hídricos que no sólo se concentren en desarrollar más infraestructura de abastecimiento, sino que también vayan dirigidas hacia las edificaciones, de forma que disminuyan su dependencia de los sistemas descentralizados e individualmente incrementen su participación en las soluciones de estos desafíos.

La implementación de sistemas de gestión del agua sostenibles en edificaciones también es un reto. La diversidad de edificios requiere un enfoque adaptado a las demandas de cada proyecto, aun cuando se pueden identificar características similares entre ellos. Además, estas demandas dependen no solo del uso del edificio, sino también de factores sociales y culturales.

Por otro lado, la disponibilidad de tecnologías puede ofrecer un nuevo escenario con un mejor desempeño en el uso del recurso. Sin embargo, los costos asociados a la instalación, la operación y el mantenimiento limitan su accesibilidad, principalmente en proyectos de pequeñas dimensiones. De ahí que, en la gestión del agua sea necesario incorporar políticas públicas e incentivos fiscales que permitan transformar la practicas de diseño y la oferta de productos.

Las regulaciones y estándares de diseño podrían ser los primeros motivadores para un diseño adecuado y enfocado al uso eficiente del agua, ya que establecen los requisitos mínimos obligatorios. Lo establecido ahí tiene un impacto significativo en el desarrollo de nuevos proyectos y en la forma que las ciudades van evolucionando. Por lo tanto, la reinterpretación constante pero suficiente de estos requerimientos es crucial para cumplir con las metas acordadas por las administraciones públicas, la sociedad y el grupo de profesionistas.

En respuesta y como reemplazo del diseño tradicional, han surgido las propuestas impulsadas por la edificación sustentable. Estos enfoques, promovidos tanto por asociaciones particulares como administraciones públicas, plantean un nuevo marco de referencia que busca proporcionar beneficios ambientales, sociales y económicos a lo largo de vida útil de las edificaciones.

1.3 Justificación del trabajo

Dada la relevancia de la gestión sustentable del agua y su estrecha relación con las edificaciones, éstas últimas representan un potencial punto de intervención crucial. En contraposición al diseño tradicional de edificaciones, las certificaciones de edificación sustentable proponen una alternativa de diseño con un enfoque más amplio y multidimensional. Además, la normativa influye en la conceptualización y ejecución de los proyectos. Por lo tanto, este trabajo pretende explicar en detalle el diseño de un edificio bajo un enfoque de eficiencia en el uso del agua, siguiendo el marco de referencia establecido por las certificaciones de edificación sustentable. Asimismo, se busca analizar en qué medida la normatividad y las certificaciones se intersectan. Dado el escenario de preocupación creciente y la previsión de desafíos más severos, el caso de estudio se centra en el contexto de la Ciudad de México.

1.4 Objetivos

- Diseñar las instalaciones de suministro y evacuación de agua de un edificio, las cuales incluyen la instalación hidráulica, instalación sanitaria, sistema alternativo/ instalación pluvial y sistema contra incendio, considerando un enfoque de uso eficiente del agua.
- Analizar el impacto de la legislación y estándares de diseño para la implementación de prácticas eficientes en el diseño de las instalaciones de los edificios.
- Aplicar estrategias de sistemas de calificación de edificación sustentable.
- Estimar la demanda y la distribución del uso del agua en el edificio.
- Estimar la relación entre el agua requerida por el edificio y el agua compensada y devuelta.

1.5 Limitaciones

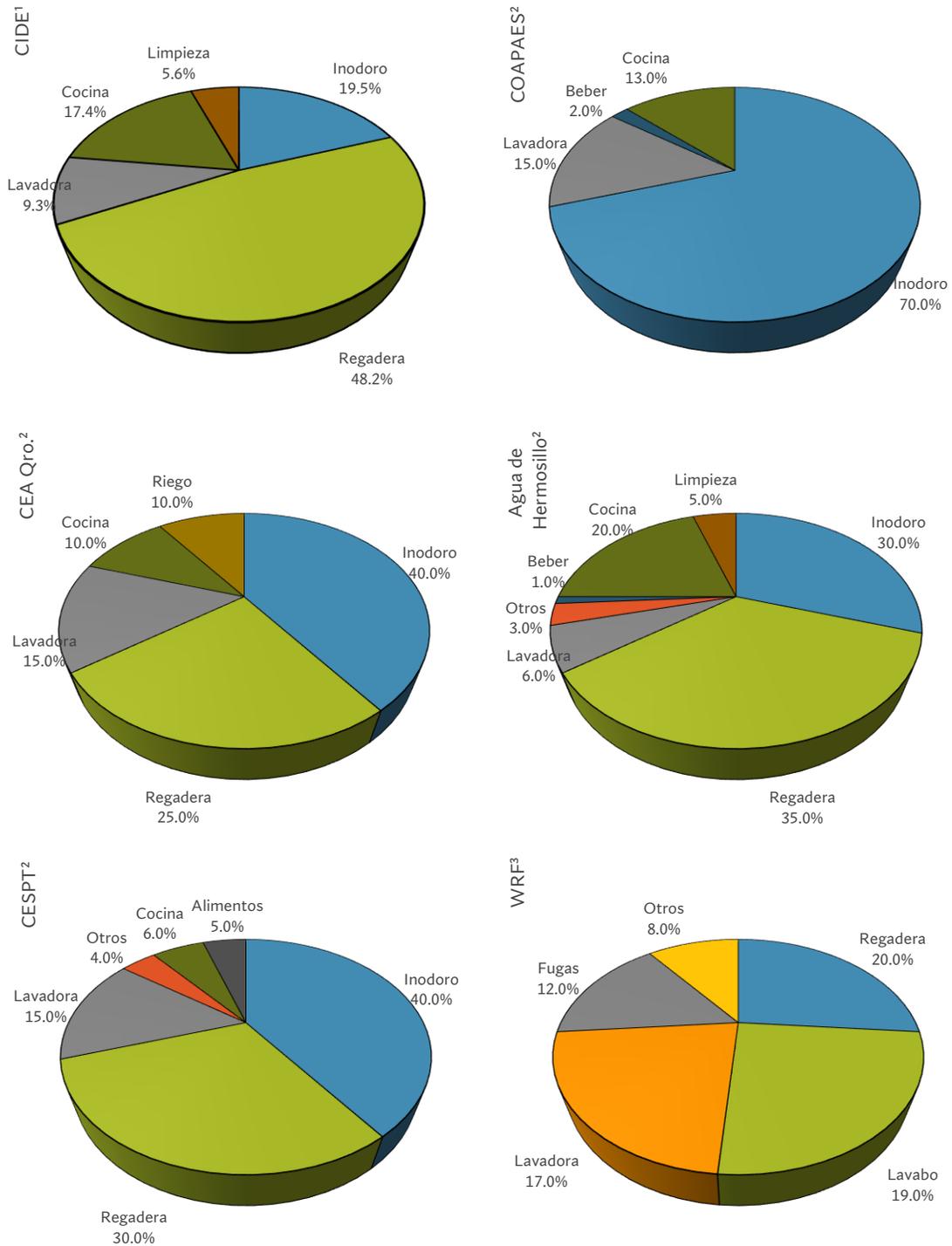
El proceso para la implementación de criterios de edificación sustentable implica establecer un enfoque integral que incorpore las necesidades ambientales, sociales y económicas. Los beneficios se logran precisamente a través de este panorama multidimensional. Este trabajo se limita únicamente en describir la aplicación de estrategias en el rubro del agua. Además, debido a la extensión no se incluye una discusión sobre los costos asociados para la implementación y operación de cada estrategia. Dado el enfoque específico de esta especialidad en la vinculación de temas aplicados al ejercicio profesional, este trabajo pretende servir como referencia que ejemplifica el diseño bajo la aplicación de criterios de edificación sustentable y discute la influencia de la normatividad y los estándares de diseño actuales a través de un caso de estudio.

2. Marco teórico

2.1 Uso del agua en los edificios

Para proporcionar espacios funcionales, las edificaciones constantemente requieren del suministro de recursos, entre ellos el agua. La demanda de agua varía según la finalidad del edificio, el clima, el nivel socioeconómico, hábitos de uso, las políticas de uso y conservación, y la propia conceptualización, es decir, de las instalaciones, equipamientos y tecnologías disponibles en el edificio. Además de reconocer estas variables, es fundamental trazar la distribución de agua en el edificio como una ruta para comprender el panorama e identificar las potenciales oportunidades para el uso eficiente del agua. Esto, a su vez, permite proponer alternativas que puedan llevar a una nueva y mejor conceptualización de los proyectos bajo el contexto dado.

En lo que respecta a las edificaciones habitacionales, la "Guía de Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales" (CONFOVI, 2005) recopila datos sobre la distribución del agua en diversas demandas. Según estos datos, el principal uso del agua es satisfacer las necesidades del inodoro o la regadera, seguido posiblemente por la cocina o la lavadora, y, finalmente, para la limpieza y el consumo humano. Asimismo, un estudio denominado "Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México" realizado por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (Ramírez-Fuentes, Soto-Montes de Oca, Acosta Peña, Maya González, & Sánchez Villarreal, 2012), indica que casi la mitad del agua consumida en viviendas se destina a bañarse, otro 19.5% al inodoro, un 9.3% al lavado de ropa, un 17.4% al lavado de trastes y un restante 5.6% a la limpieza y otros usos en el hogar, como trapear, regar el jardín u otras plantas, o lavar el automóvil. Asimismo, uno de los estudios más significativos sobre el uso residencial del agua en América del Norte es el informe "Usos Finales Residenciales del Agua, Versión 2" publicado por la Fundación de Investigación del Agua de Estados Unidos (DeOreo, Mayer, Dziegielewski, & Kiefer, 2016). De acuerdo con este informe, la descarga de inodoros es el uso más grande de agua en el interior de viviendas unifamiliares, seguido por los grifos, las duchas, las lavadoras de ropa, las fugas, las bañeras, otros usos diversos y los lavavajillas. La siguiente figura muestra la distribución del agua según diversas fuentes de información:



Fuentes:
 1 (CONFOVI, 2005)
 2 (Ramírez-Fuentes, et al., 2012)
 3 (DeOreo, et al., 2016)

Figura 2.1-1. Uso del agua en edificios habitacionales

2.2 Fuentes de agua

La diversidad de fuentes de agua ofrece oportunidades para optimizar el uso del recurso hídrico y reducir la demanda de agua potable. Al mismo tiempo, promueve la implementación de prácticas de gestión del agua en entornos urbanos y construcciones que se ajustan a estándares más sostenibles y avanzados. Las fuentes de agua se conforman por el agua potable municipal, agua regenerada municipal, agua gris, agua negra, agua de lluvia, agua tormenta, condensados, concentrados, agua de purga y agua de cimentación, entre otras. Cada fuente tiene sus propias características y requisitos de tratamiento, lo que permite adaptar su uso a las necesidades específicas de cada proyecto. La siguiente tabla recopila lo descrito por WaterSense (2012), FEMP (s.f.) y Joustra y Yeh (2015) para cada una de las fuentes.

Tabla 2.2-1. Fuentes de agua

Fuente de agua	Origen	Descripción
Agua potable municipal	Fuentes subterráneas, superficiales, mar.	Agua tratada para servicios potables suministrada por la red de abastecimiento municipal.
Agua regenerada municipal	Aguas residuales municipales	Agua tratada apta para usos no potables suministrada por la red de abastecimiento municipal.
Agua gris	Lavabos, regaderas, bañera, lavadora de ropa	Agua residual generada en actividades domésticas que puede ser tratada y reutilizada para usos no potables.
Agua negra	Inodoros, urinarios, fregaderos	Aguas residuales domésticas que requieren tratamiento avanzado antes de su reutilización o descarga.
Agua de lluvia	Escorrentía superficial	Agua recogida de la lluvia antes de interactuar con el suelo.
Agua de tormenta	Escorrentía superficial	Agua de lluvia que fluye por superficies impermeables y puede ser gestionada para evitar inundaciones y recogerla para usos diversos.
Condensados	Equipos de acondicionamiento de aire	Agua generada por la condensación de la humedad del aire, comúnmente en sistemas de aire acondicionado.
Concentrados	Equipos de tratamiento de aguas	Agua generada como subproducto de procesos de tratamiento.
Agua de purga	Purga de sistemas y equipos	Agua utilizada para limpiar y purgar sistemas.
Agua de cimentación	Procesos de construcción	Agua acumulada durante la excavación y construcción de edificios.

Por otro lado, las fuentes de agua se pueden clasificar según su origen, tipo de solución y finalidad. La primera clasificación se refiere a las aguas generadas dentro del sitio y a las aguas generadas fuera del sitio. La segunda clasificación se refiere a las fuentes de aguas tradicionales y alternativas. Las fuentes de agua clasificadas por su fin se denominan aguas aprovechadas o aguas devueltas. La **Figura 2.2-1** muestra en detalle una representación gráfica de las intersecciones entre las diferentes clasificaciones y las fuentes de agua que podrían pertenecer a cada una de ellas.

La disponibilidad, el aprovechamiento, las demandas y/o las calidades de cada una de las potenciales fuentes dependerá de diversos factores según el contexto del edificio, estos incluyen su tipología, hábitos de los ocupantes, ubicación, accesibilidad a los servicios, marco normativo aplicable, evaluación económica y ambiental y la configuración, operación y mantenimiento de las instalaciones y equipos, entre otros.

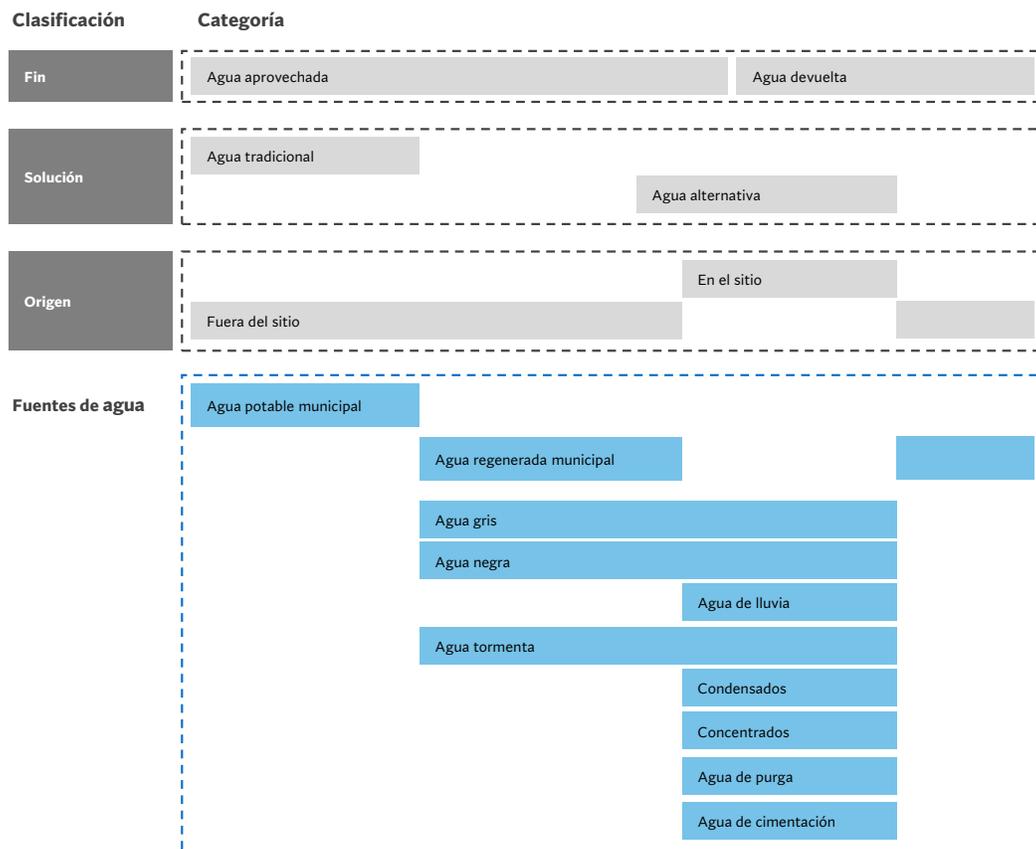


Figura 2.2-1. Clasificación de fuentes de agua
 Con base en WaterSense (2012), FEMP (s.f.) y Joustra y Yeh (2015).

2.3 Demandas de agua

Las demandas de agua se refieren a la cantidad del recurso hídrico necesaria para satisfacer las necesidades de los ocupantes y las operaciones del edificio. Estas demandas incluyen aspectos como irrigación, consumo humano, higiene, cocina, limpieza, saneamiento, procesos de agua, seguridad, y recreación y estética (Joustra y Yeh, 2015). Cada una de estas categorías se compone de varios aparatos y componentes (ver **Tabla 2.3-1**).

Además, las demandas de agua pueden variar significativamente según el tipo de edificio. Por ejemplo, un edificio de oficinas puede no incluir algunas de las demandas relacionadas con higiene o cocina, por lo que no requeriría aparatos como regaderas, fregaderos o lavadoras de trastes. En contraste, en un edificio residencial, no se necesitarían muebles sanitarios como mingitorios.

Identificar y definir todas las demandas de agua permite una planificación integral y el desarrollo de estrategias de gestión y conservación del agua adaptadas a las necesidades específicas del edificio.

Tabla 2.3-1. Demandas de agua

Demandas	Mueble/Accesorio
Irrigación	Rociadores
	Mangueras
	Sistemas de goteo
Beber	Bebederos
	Fuentes de agua
	Dispensadores de agua
Higiene	Lavabos
	Fregadero
	Regadera
Cocina	Fregadero
	Lavadora de trastes
Limpieza	Tarja
	Lavadora de ropa
Saneamiento	Inodoro
	Urinario
Procesos de agua	Enfriamiento
	Calentador
	Caldera
	Lavadoras industriales de trastes
	Máquinas de hielo
Seguridad	Rociadores de incendio
Recreación/ estética	Alberca
	Fuentes
	Estanques ornamentales

Fuente: Joustra y Yeh (2015).

2.4 Calidades de las fuentes de agua

Las características de las aguas residuales son variables, es decir, pueden cambiar a lo largo del día y en diferentes ubicaciones dentro de un edificio. Por ejemplo, durante las horas pico de uso, la concentración de contaminantes como detergente y materia orgánica en el agua gris puede aumentar significativamente, lo que requiere estrategias de tratamiento adecuadas. Esta variabilidad en la calidad del agua destaca la importancia de implementar sistemas de tratamiento y gestión del agua adaptativos que puedan ajustarse a las condiciones cambiantes. La gestión de la calidad del agua es esencial para lograr un edificio con un uso eficiente del agua y para cumplir con los estándares ambientales y de salud requeridos. La **Tabla 2.4-1** proporciona una visión general de las características de los diferentes aparatos sanitarios en el edificio.

Tabla 2.4-1. Características de la calidad del agua de diversas fuentes

Fuente	Características
Lavadora	Bacterias, virus, blanqueador, espuma, alto pH, agua caliente, nitrato, aceite y grasa, demanda de oxígeno, fosfato, salinidad, jabones, nitratos y fosfatos, sodio, pelusa y otras partículas suspendidas, y turbidez
Lavavajilla	Bacterias, espuma, partículas de alimentos, alto pH, agua caliente, mal olor, grasa, aceite y grasa, materia orgánica, demanda de oxígeno, salinidad, jabones, partículas suspendidas y turbidez
Bañera y ducha	Bacterias, cabello, champús, tintes para el cabello, pasta de dientes, grasas corporales, agua caliente, mal olor, materia orgánica, aceite y grasa, demanda de oxígeno, jabones, pelusa y otras partículas suspendidas, y turbidez
Fregaderos	Bacterias, partículas de alimentos, agua caliente, mal olor, aceite y grasa, materia orgánica, demanda de oxígeno, jabones, detergentes, partículas suspendidas y turbidez
Albercas	Cloro, salinidad, materia orgánica y partículas suspendidas

Fuente: (Gardels, 2011)

2.5 Las certificaciones de edificación sustentable

Las certificaciones de edificación sustentable son sistemas de clasificación que otorgan puntos a los proyectos conforme se vayan alcanzando ciertos requerimientos definidos en un programa. Más allá de un manual o una prescripción de requerimientos, éstas son un marco de referencia y proveen una herramienta, orientación y/o una mejor comprensión de la sostenibilidad a través del análisis de información, valoraciones y comparaciones (Nguyen y Atlan, 2011). Como lo señala Awadh (2017), las certificaciones tratan de facilitar la mejora del rendimiento operativo, la minimización del impacto ambiental, la medición del efecto de los edificios en el medio ambiente y la evaluación y el juicio objetivos del desarrollo de los edificios.

Una de las certificaciones de edificación sustentable más conocidas en el mundo es el sistema de clasificación Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible (LEED, por sus siglas en inglés). Este programa es desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (USGBC, por sus siglas en inglés). Es un sistema con un enfoque internacional y de aplicación voluntaria. La versión más reciente es LEED v4.1, que abarca 5 subsistemas de clasificación:

1. Diseño y construcción de edificios (LEED v4.1: BD+C),
2. Diseño y construcción de interiores (LEED v4.1: ID+C),
3. Operación y mantenimiento en edificios (LEED v4.1: O+M),
4. Diseño y construcción de viviendas (LEED v4.1: Residencial) y
5. Ciudades y comunidades (LEED v4.1: CC)

LEED abordan múltiples aspectos como el carbono, la energía, el agua, los residuos, el transporte, los materiales, la salud y la calidad ambiental interior. Los proyectos reciben puntos al cumplir con requisitos previos y créditos, lo que permite alcanzar diferentes niveles de certificación LEED:

1. Certificado (40-49 puntos)
2. Plata (50-59 puntos)
3. Oro (60-79 puntos) y
4. Platino (80 puntos o más).

En un contexto local, en la Ciudad de México existe un sistema de calificación equivalente: el Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables de la Ciudad de México (PCES). Este sistema es instrumentado por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) y se evalúa a través de la Dirección General de Evaluación de Impacto y Regulación Ambiental (DGEIRA). El programa está dirigido a las edificaciones ubicadas en la Ciudad de México destinadas a usos

habitacional o residencial, comercial, de servicios, recreativos, espectáculos y de usos mixtos. El PCES es de aplicación voluntaria, pero puede convertirse en obligatorio bajo ciertas circunstancias. Se ordena según la etapa del proyecto, las cuales pueden ser:

1. Diseño y construcción, y
2. Operación

El PCES agrupa los criterios de sustentabilidad en varias categorías, que incluyen acción en la comunidad, agua, aire y movilidad, biodiversidad, calidad de vida a usuarios, energía, materiales y residuos, redes eficientes de energía y responsabilidad social. Los proyectos pueden lograr el certificado de acuerdo con la etapa de la edificación y el grado de aplicación de los criterios de sustentabilidad, de conformidad con las siguientes categorías de certificación:

1. Diseño y construcción:
Cumplimiento (128-250 puntos),
Eficiencia (251-320 puntos) y
Excelencia (321-367 puntos)
2. Operación:
Cumplimiento (145-350 puntos),
Eficiencia (351-479 puntos) y
Excelencia (480-562 puntos)

3. Metodología

Este capítulo describe la metodología empleada en el diseño de un edificio con un enfoque de uso eficiente del agua. La metodología consta de las siguientes etapas: **1)** recopilación y análisis de información, **2)** definición de objetivos y metas, **3)** planteamiento de estrategias, **4)** evaluación de estrategias y **5)** uso y balance del agua en el edificio. La primera se enfoca en entender al contexto del proyecto y con ello las limitaciones y posibilidades. La segunda busca establecer los ejes rectores del diseño. La tercera propone establecer las estrategias con base en dos certificaciones de edificación sustentable: el PCES de alcance local y LEED de alcance internacional. Finalmente, la quinta busca estimar la cantidad de agua demanda, su distribución en su uso y la relación de balance de agua como una forma de evaluar cuantitativamente la eficiencia del uso del agua edificio. Las particularidades sobre las pautas de diseño y marco normativo descritas en cada etapa se enfocan en la Ciudad de México. Enseguida se describe cada una de las etapas con mayor detalle.

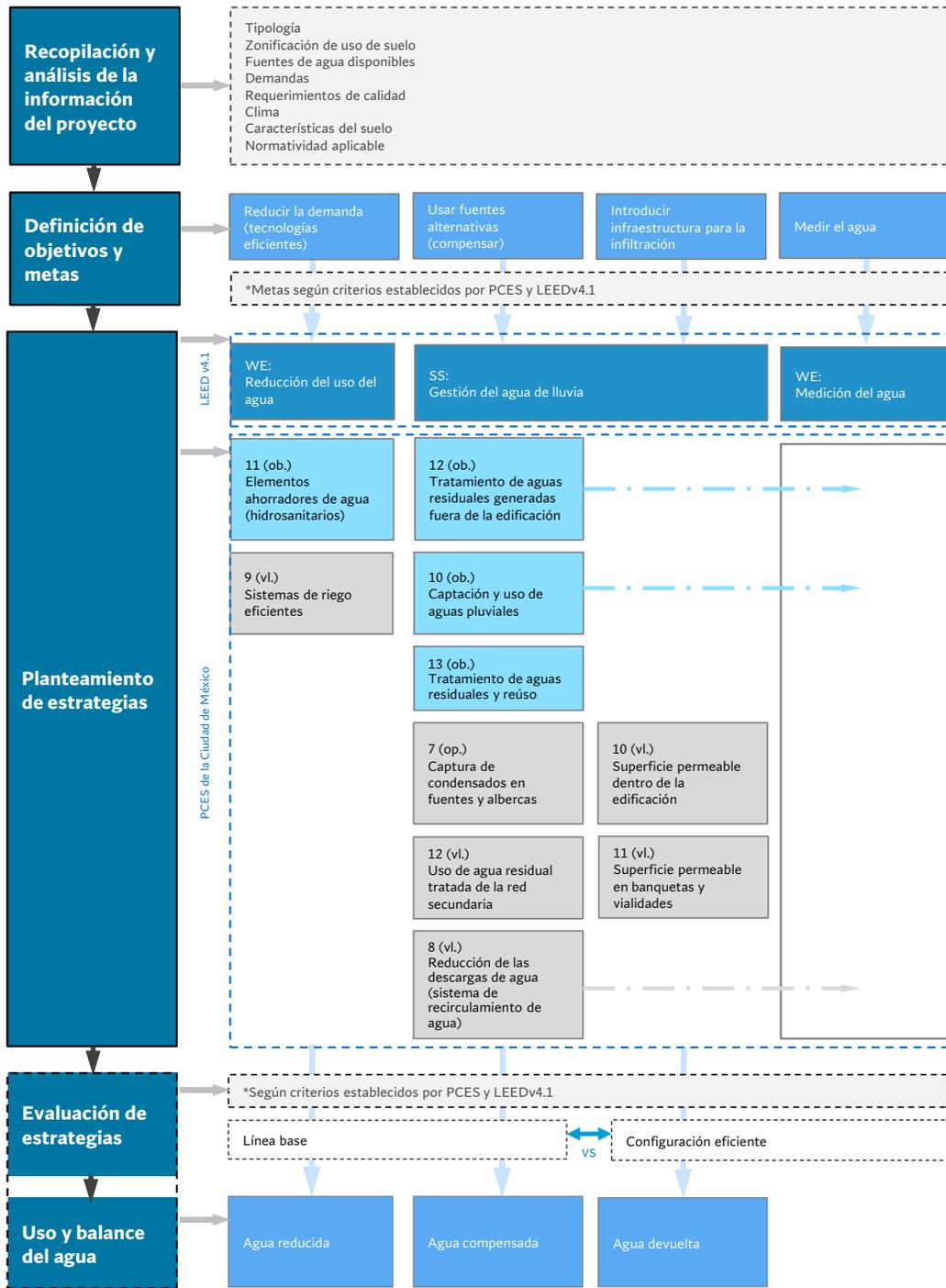


Figura 2.5-1. Metodología basada en los criterios del PCES y LEEDv4.1

3.1 Recopilación y análisis de información

Esta etapa implica la investigación exhaustiva de las variables que determinan o limitan el contexto del proyecto. Estas variables abarcan, entre otros aspectos, la tipología del edificio, la zonificación, las fuentes de agua disponibles, las demandas, los requisitos de calidad, el clima, las características del suelo y la normatividad aplicable.

La tipología de la edificación pretende la categorización de espacios según sus semejanzas. Estas tipologías se mencionan en las NTC-PA o en las NTC-DEOIH y comprenden, entre otras, las siguientes categorías: habitacional, comercial, servicios, industria, infraestructura y espacios abiertos. En el contexto de la categoría habitacional, el CEF 2017 establece tres subcategorías para las viviendas: según el precio en económica, popular, tradicional, media, residencial o residencial plus; según su forma de construcción en desarrollador o profesionista, propietarios o asociaciones y grupos; y según el número de viviendas por lote en unifamiliar o plurifamiliar. Una de sus principales finalidades es establecer bases para el diseño o requerimientos específicos para una tipología dada, como la aplicabilidad o exención de criterios de certificaciones de edificación sustentable como el PCES o LEED.

La zonificación determina el potencial de desarrollo de un predio. Esta precisa los usos de suelo, los niveles máximos permitidos, la altura máxima, las densidades, las intensidades de aprovechamiento y la ocupación, entre otros. Se establece con base en el Programa General de Desarrollo Urbano (a nivel estatal) y los Programas Parciales de Desarrollo Urbano (a nivel municipal). En la Ciudad de México, el Certificado Único de Zonificación de Uso del Suelo es el documento administrativo que informa la normatividad de uso de suelo. Ya que la zonificación refleja las Normas Generales de Ordenación, pero aplicadas de manera específica a cada predio, se aclara el panorama en cuanto a la gestión y el uso del recurso hídrico, y con ello las posibilidades y limitaciones del proyecto: las demandas de agua varían en función de la tipología, que se establece según lo permitido por el uso de suelo. Además, una zona que permite una alta densidad requerirá una mayor cantidad del recurso, o la intensidad de aprovechamiento ligada al área mínima libre de construcción impacta en la capacidad de incluir infraestructura para la infiltración de agua; incluso si el uso de suelo lo permite, un proyecto de gran tamaño estará sujeto a un estudio de impacto urbano, lo cual, a su vez, implicará la necesidad de incorporar ciertos servicios de infraestructura.

Las fuentes de agua fuera del sitio dependen de la oferta de servicios hidráulicos por parte de las municipalidades o en este caso de las alcaldías. En la Ciudad de México, el Dictamen de Factibilidad de Servicios Hidráulicos es el documento resultado de la evaluación técnica-jurídica relativa a la dotación de los servicios hidráulicos de agua potable, agua residual tratada y drenaje. Es emitida por la dependencia encargada de

la operación hidráulica en la Ciudad de México (SACMEX). Las fuentes de agua generadas en el sitio con potencial de aprovechamiento dependen de su posible generación, la cantidad de agua, su calidad, las restricciones normativas, y la factibilidad en la implementación de una estrategia.

Los requerimientos de calidad del agua dependerán principalmente del tipo de demandas a abastecer, las cuales pueden ser para proveer servicios potables o no potables. Con respecto a las calidades del agua, los servicios potables deberán cumplir con la NOM-127-SSA1-2021, mientras que los servicios no potables, donde se reutilizan las aguas residuales tratadas, deberán cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997. Además, si los objetivos pretenden la infiltración de agua, será necesario cumplir con la NOM-014-CONAGUA-2003 cuando se trate de agua residual tratada y con la NOM-015-CONAGUA-2007 cuando se trate de agua de lluvia. Adicionalmente, las calidades de agua pueden quedar determinadas, por los lineamientos normativos aplicables, por ejemplo, según el Artículo 89 del RCDF: “Las edificaciones nuevas no habitacionales y las de más de 1000 m² [...], deben contar con redes separadas de agua potable, agua residual tratada y agua de lluvia debiéndose utilizar estas dos últimas en todos los usos que no requieran agua potable...”. Algo similar, que se generaliza para otras tipologías para construcciones tipo B y C, se presenta en el Artículo 86 BIS 1 de la Ley Del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad De México: “Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos aquellos usos que no requieran agua potable”. En esos casos, la factibilidad para el uso de diferentes calidades de aguas podría verse beneficiada por su obligatoriedad de uso.

El clima se refiere a las condiciones atmosféricas. Es caracterizado por los estados y las evoluciones del tiempo en una porción determinada del espacio. Los elementos climáticos se conforman por la temperatura, la humedad, el viento, la nubosidad, la presión, la precipitación, la radiación solar y la evaporación. El análisis de estas variables establece el escenario para el cual se deberán pensar las estrategias. Probablemente, en el ámbito del agua, el elemento más evidente sea la precipitación, en términos de cantidad, frecuencia e intensidad. Esto como resultado permitirá entender los patrones de lluvia e implementar estrategias para la captación, transporte, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento e infiltración. Otros elementos climáticos, como la temperatura y humedad, permiten el dimensionamiento de sistemas pasivos o activos para la climatización y con ellos la estimación de la generación de condensados (fuentes de agua alternativas). Asimismo, el viento, la radiación y la evaporación posibilitan la comprensión de los requerimientos de las especies vegetales y permiten proponer estrategias más eficientes para su selección y cuidado, así como estimar la cantidad de agua que se evapora de albercas o fuentes. Indudablemente, los elementos climáticos determinan

en gran medida el diseño de uno o varios componentes de las edificaciones. En su mayoría, los datos históricos y las normales climatológicas se pueden obtener a través del sitio web de la *Red de Estaciones Climatológicas* de CONAGUA. Otra fuente son los sitios *AQUASTAT Climate Information Tool* de la FAO o *Climatic Design Conditions* de AHSRAE. También se pueden consultar bases de datos como *CLICOM* del SMN. La fuente seleccionada dependerá de la cantidad y la calidad de los datos y su tratamiento y análisis del objetivo específico.

Las características del suelo se determinan a través estudios técnicos. Inicialmente, algunas propiedades se obtienen a partir del estudio de mecánica de suelos, el cual incluye el perfil estratigráfico, los pesos volumétricos, las cohesiones aparentes, los ángulos de fricción, las relaciones de Poisson, las relaciones de vacíos, los módulos de elasticidad y los asentamientos. Sin embargo, además de las propiedades mecánicas, también son relevantes otras propiedades que proporcionen información sobre el movimiento del agua a través de suelo. El estudio de permeabilidad del suelo provee este tipo de información, específicamente, se obtienen el coeficiente de permeabilidad, la velocidad y dirección del flujo y el gradiente de presión, entre otros. El entendimiento de las características del suelo, en el contexto de este trabajo, impacta especialmente en el diseño de la infraestructura de infiltración.

La normatividad provee de disposiciones para el ordenamiento de nuestra organización social. Pero, más allá de su connotación legal, para el promovente de un proyecto representa los estándares mínimos que se procuran entorno a un ámbito. De modo que éstas suelen tomarse como las pautas para el diseño. En el contexto de la Ciudad de México, el RCDF y sus NTC son en primera instancia las disposiciones legales que rige las obras de construcción, instalación, ampliación reparación y demolición. Estas además están sujetan a las disposiciones de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y su Reglamento. Adicionalmente, otras disposiciones jurídicas y administrativas se aplican según la materia o actividad (**Ver Anexo 7.1**).

3.2 Definición de objetivos y metas

En la etapa de diseño deben establecerse declaraciones generales y amplias que describan lo que se pretende lograr en el proyecto. Precisamente estas declaraciones son los objetivos. Las pautas de diseño en el ámbito de agua para su uso eficiente podrían coincidir en establecer como ejes rectores algunos o todos los siguientes objetivos: **1)** reducir la demanda; **2)** utilizar fuentes de agua alternativas; **3)** devolver el agua y **4)** realizar monitoreo y control. De ahí que estos representen la base de este trabajo. Sin embargo, esta formulación extensa requiere declaraciones concretas, cuantificables, relevantes, alcanzables y limitadas en tiempo que permitan lograr los objetivos. Estas son las metas. Su planteamiento depende del contexto del proyecto e implica la consideración y convergencia de múltiples variables.

En relación con lo anterior, los programas de certificaciones el PCES y LEED procuran satisfacer objetivos a través de cada uno de los criterios que plantean. Se podría mostrar que estos se apegan a los objetivos arriba enunciados. Además, en cada criterio se establecen las metas para el cumplimiento del criterio y, por lo tanto, del objetivo. Estas pueden variar para ajustarse al contexto y las posibilidades de cada proyecto, de tal forma que hay requerimientos mínimos en las metas (que son diferentes a criterios voluntarios u obligatorios en el PCES). Al final, la posibilidad de ajustar las metas se ve reflejada en los puntos adquiridos y, por lo tanto, en los beneficios que otorga cada certificación. En un sentido más profundo está relacionada con la eficiencia del uso del recurso y lo que representa hacia el cuidado del medio ambiente.

3.3 Planteamiento de estrategias

Las estrategias se basan en lo establecido como criterios para el PCES o créditos para LEED. El abanico de estrategias parte específicamente de lo que proponen estas dos certificaciones. En ambas, se propone un rubro específico para el agua; no obstante, en los lineamientos de LEED hay otros rubros que indirectamente referencian a este ámbito. Por otro lado, la aplicabilidad voluntaria u obligatoria de criterios en la etapa de diseño es exclusiva del PCES, a menos que se considere la tipología del edificio, ya que entonces LEED selecciona criterios específicos que se vuelven obligatorios para esa tipología. Además, se establecen requerimientos o prerequisites que son las metas mínimas que necesitan cumplirse para lograr las certificaciones. A continuación, se describen los criterios y créditos:

3.3.1 Criterios del PCES

PCES (10) Captación y uso de aguas pluviales (6 puntos) Obligatorio

Objetivo:

Reducir el consumo de agua potable de la red mediante la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia que se reutilice en actividades que no requieran agua potable, como sanitarios, riego y lavado de autos.

Meta

80% de cobertura de superficies con potencial de captación de agua pluvial.

Requerimientos mínimos

Demostrar que la edificación cuenta con un sistema que abarque una cobertura mínima del 80% de las superficies con potencial de captación de agua pluvial.

PCES (11) Elementos ahorradores de agua (hidrosanitarios) (5 puntos) Obligatorio

Objetivo:

Reducir el consumo de agua de la instalación instalando equipos hidrosanitarios de bajo o nulo consumo.

Meta

95% de equipos hidrosanitarios eficientes.

Requerimientos mínimos

Demostrar que la edificación cuenta con una cobertura de al menos el 95% de equipos hidrosanitarios ahorradores en la edificación.

PCES

(12) Tratamiento de aguas residuales generadas fuera de la edificación (7 puntos)

Obligatorio

Objetivo:

Aumentar la disponibilidad de agua tratada de la red secundaria, aumentando la cantidad de aguas residuales tratadas por la edificación, de predios aledaños.

Meta

Demostrar el tratamiento del agua residual de al menos un predio colindante.

Requerimientos mínimos

Demostrar el tratamiento de aguas residuales de predios aledaños a la edificación.

PCES

(13) Tratamiento de aguas residuales y reúso (3 puntos)

Obligatorio

Objetivo:

Instalar sistemas de tratamiento de aguas residuales que permitan el reúso de agua en actividades que no requieran agua potable, como sanitarios, limpieza en general y lavado de autos.

Meta

Instalar un sistema de tratamiento de agua residual que permita reutilizar el agua en sanitarios, limpieza en general y lavado de autos.

Requerimientos mínimos

Demostrar que la edificación cuenta con un sistema de tratamiento de agua que permita tratar todas las descargas de agua residual, generada en sanitarios, limpieza en general y lavados de autos.

PCES

(7) Captura de condensados en fuentes o albercas (3 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Reducir el consumo de agua mediante la instalación de un sistema de recolección y reúso del agua mediante sistemas de recuperación de condensados en albercas o fuentes ornamentales.

Meta

Instalar un sistema que capture la condensación de agua generada en fuentes ornamentales o albercas.

Requerimientos mínimos

Demostrar que el interesado o promovente cuenta con un sistema de recuperación de condensados de albercas y fuentes ornamentales en la edificación.

(8) Reducción de las descargas de agua (sistema de recirculamiento de agua) (6 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Reducir el consumo de agua potable empleado para los sistemas de lavandería de la edificación.

Meta

90% de tratamiento del agua empleada en lavandería.

Requerimientos mínimos

Demostrar que el interesado o promovente cuenta con un sistema de tratamiento de agua residual proveniente de lavanderías que permita el reúso de al menos el 90% del agua empleada para estas actividades.

PCES

(9) Sistemas de riego eficientes (2 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Reducir el consumo de agua mediante la implementación de sistemas de riego automatizado o eficiente, que disminuya el consumo y desperdicio de agua.

Meta

Diseñar e instalar un sistema de riego eficiente.

Requerimientos mínimos

El interesado o promovente demostrará que el riego de todas las áreas verdes de la edificación se realiza a mediante sistemas automatizados o eficientes; por ejemplo: riego por microaspersión y goteo.

PCES

(10) Superficie permeable dentro de la edificación (7 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Integrar áreas libres permeables, dentro del diseño de la edificación, que permitan la recarga de agua pluvial al subsuelo, cuyo uso sean áreas verdes y que sean accesibles para los usuarios de la edificación.

Meta

Demostrar que el interesado o promovente respetó el área libre permeable que establece el Programa de Desarrollo Urbano.

Requerimientos mínimos

Que el interesado o promovente respete el total del porcentaje de área libre establecido en los programas de desarrollo urbano.

PCES

(11) Superficie permeable en banquetas y vialidades (6 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Instalar sistemas de pavimentación que permitan la infiltración de agua al subsuelo en banquetas y vialidades dentro y fuera de la edificación.

Meta

Demostrar que todas las banquetas colindantes, así como las vialidades y banquetas interiores, permitan la infiltración del agua al subsuelo.

Requerimientos mínimos

Que las banquetas que colindan con la edificación, así como las vialidades y banquetas interiores, sean de materiales permeables que permitan la infiltración del agua al subsuelo.

PCES

(12) Uso de agua residual tratada de la red secundaria (7 puntos)

Voluntario

Objetivo:

Utilizar agua tratada de la red secundaria mediante pipas o conexión a la red, para utilizarla en actividades que no requieran agua potable como sanitarios, riego, lavado de autos.

Meta

Demostrar que el interesado o promovente emplea solo agua tratada proveniente de la red secundaria de agua de la Ciudad de México o de pipas de agua tratada, en el uso de sanitarios, riego y lavado de autos.

Requerimientos mínimos

Utilizar agua tratada proveniente de la red secundaria en aquellos servicios que no requieran agua potable.

Fuente: GOBCDMX (2020). Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables de la Ciudad de México.

3.3.2 Créditos de LEED

LEEDv4.1 BD+C

(IP) Proceso Integrativo (1 punto)

Objetivo:

Apoyar resultados de proyectos de alto rendimiento y rentables a través de un análisis temprano de las interrelaciones entre sistemas y la formación de contratistas de instalación.

Meta

Hay 2 opciones, puede ser una o la otra.

Opción 1: Formación de Contratistas de Instalación (1 punto)

Opción 2: Proceso Integrativo (1 punto)

Requerimientos mínimos

Según opciones.

Opción 1

Formación de Contratistas de Instalación (1 punto)

Antes de la construcción, pero después de que se haya contratado a los contratistas de instalación para el proyecto, llevar a cabo al menos ocho horas de formación (extendida durante un día completo o varios días) sobre los aspectos verdes del proyecto y cómo los contratistas de instalación pueden contribuir a lograr cada requisito previo LEED e intentar créditos. Enfocarse en áreas donde los contratistas de instalación tradicionalmente han tenido dificultades para cumplir con los estándares de construcción sostenible. Incluir al menos los siguientes oficios en la formación: fontanería; sistemas mecánicos; aislamiento; estructura; sellado de aire.

Opción 2

Proceso Integrativo (1 punto)

Descubrimiento:

Desde la etapa de prediseño y continuando a lo largo de las fases de diseño, identificar y aprovechar oportunidades para lograr sinergias entre disciplinas y sistemas de construcción. Utilizar los análisis descritos a continuación para informar el diseño y los documentos de construcción.

Sistemas Relacionados con la Energía; y

Sistemas Relacionados con el Agua:

Realizar un análisis preliminar del presupuesto de agua antes de la finalización del diseño esquemático que explore cómo reducir las cargas de agua potable en el edificio, disminuir la carga sobre el suministro municipal o los sistemas de tratamiento de aguas residuales, y lograr objetivos de sostenibilidad relacionados. Evaluar y estimar las posibles fuentes de suministro de agua no potable del proyecto y los volúmenes de demanda de agua, incluyendo lo siguiente:

- Demanda de agua en interiores. Evaluar los volúmenes de demanda de diseño de caudal y descarga, calculados de acuerdo con el Prerrequisito y el Crédito de Uso de Agua.
- Demanda de agua en exteriores. Evaluar el volumen de demanda de diseño de riego de paisaje calculado de acuerdo con el Prerrequisito y el Crédito de Uso de Agua.
- Fuentes de suministro. Evaluar todos los posibles volúmenes de suministro de agua no potable, como agua de lluvia y aguas grises en el lugar, agua no potable suministrada por el municipio y condensado de equipos de HVAC. Analizar cómo las fuentes de suministro de agua no potable pueden contribuir a los componentes de demanda de agua mencionados anteriormente.

Implementación:

Desarrollar una Carta del Equipo del Proyecto. Proporcionar una carta fechada en el membrete del Facilitador del Proceso Integrador que resuma el enfoque del proceso integrador del equipo y describa la diferencia que este enfoque integrador ha tenido en términos de mejorar la interacción del equipo del proyecto y el rendimiento del proyecto.

Fuente: USGBC (2020). LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes.

LEEDv4.1 BD+C (WE) Reducción del uso del agua (1-10 puntos)

Objetivo:

Reducir la demanda de agua a través de accesorios de alta eficiencia y prácticas de paisajismo eficiente.

Meta

Hay 2 opciones, puede ser una u otra.

Opción 1: Reducción Total del Uso de Agua (3-10 puntos)

Opción 2: Espacios exteriores e interiores (1-9 puntos)

Alternativa 1 (6 puntos) **y/o** Alternativa 2 (3 puntos)

Requerimientos mínimos

Según **WE Prerrequisito: Reducción del uso del agua.**

Reducir el consumo de agua en conjunto en un 20% con respecto al nivel base, o ganar 3 puntos en el crédito de WE: Reducción del Uso de Agua.

Opción 1 Reducción total del uso de agua (1-10 puntos)

Reducir el consumo total de agua en interiores y exteriores en al menos un 20% en comparación con las prácticas estándar. Demostrar los ahorros utilizando la Calculadora de Reducción de Agua.

Reducción porcentual	Puntos
20%	3
25%	4
30%	5
35%	6
40%	7
45%	8
50%	9
55%	10

Opción 2 Espacios exteriores e interiores (1-9 puntos)

Alternativa 1: Espacios exteriores (1-3 puntos)

Paisaje con plantas nativas o adaptadas a la región.

Área de Plantas Nativas o Adaptadas	Puntos
> 25%	1
> 50%	2
> 75%	3

Alternativa 2: Espacios interiores (1-6 puntos)

Grifo de lavabo (5.6 lpm) WaterSense (1 punto)

Regadera (7.6 lpm o 6.6 lpm) WaterSense (1-2 puntos)

Inodoro (4.8 lpf o 4.1 lpf) WaterSense (1-2 puntos)

Lavadora de ropa ENERGY STAR (1 punto)

Fuente: USGBC (2020). LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes.

Notas: WE: Water Efficiency

LEEDv4.1 BD+C (WE) Medición del agua (1-2 puntos)

Objetivo:

Respaldar la gestión del agua e identificar oportunidades adicionales de ahorro de agua mediante el seguimiento del consumo de agua.

Meta

Hay 2 opciones, puede ser una **y/o** la otra.

Opción 1: Medición de los Subsistemas de Agua (1 punto)

Opción 2: Medición de Unidades de Vivienda (1 punto)

Requerimientos mínimos

Según **WE Prerrequisito: Medición de Agua a Nivel de Edificio**

Instalar medidores de agua permanentes que midan el uso total de agua potable para el edificio y los terrenos asociados. Los datos de los medidores deben ser recopilados en resúmenes mensuales y anuales; las lecturas de los medidores pueden ser manuales o automáticas. Comprometerse a compartir con USGBC los datos resultantes del uso de agua del proyecto completo durante un período de cinco años a partir de la fecha en que el proyecto acepte la certificación LEED o la ocupación típica, lo que ocurra primero. Este compromiso debe mantenerse durante cinco años o hasta que el edificio cambie de propiedad o arrendatario.

Opción 1 Medición de los Subsistemas de Agua (1 punto)

Instalar medidores de agua permanentes para dos o más de los siguientes subsistemas de agua: riego, 80% de accesorios y equipos de plomería en interiores (descritos en WE prerrequisito: Reducción del uso del agua), agua caliente doméstica, calderas, agua regenerada, otra agua de proceso, torre de enfriamiento.

Opción 2 Medición de Unidades de Vivienda (1 punto)

Instalar un medidor de agua permanente para cada unidad de vivienda residencial que mida el uso total de agua potable de la unidad.

Fuente: USGBC (2020). LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes.

Notas: WE: Water Efficiency

LEEDv4.1 BD+C (WE) Gestión del agua de lluvia (1-3 puntos)

Objetivo:

Reducir el volumen de escorrentía y mejorar la calidad del agua mediante la replicación de la hidrología y el balance hídrico natural del sitio, basado en condiciones históricas y ecosistemas no desarrollados en la región.

Meta

Hay 2 opciones, puede ser una o la otra.

Opción 1: Percentil de Eventos de Precipitación (1-3 puntos)

Opción 2: Área de Terreno Permeable (1-3 puntos)

Requerimientos mínimos

Según opciones.

Opción 1 Percentil de Eventos de Precipitación (1-3 puntos)

De manera que mejor replique los procesos de hidrología natural del sitio, retener (es decir, infiltrar, evapotranspirar o recolectar y reutilizar) en el lugar la escorrentía del sitio desarrollado durante, como mínimo, el percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales mediante prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID) / infraestructura verde (GI). Las estrategias de GI y LID pueden ser tanto estructurales como no estructurales.

Ejemplos de técnicas aceptables incluyen las siguientes: Plantar jardines de lluvia con material vegetal nativo o adaptado, instalar una azotea verde, utilizar pavimentos permeables, instalar características permanentes de infiltración o recolección (por ejemplo, zanja vegetada, jardín de lluvia, cisterna de agua de lluvia) que puedan retener el 100% de la escorrentía durante, como mínimo, el percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales.

Percentil de Precipitación Retenido	Puntos
Percentil 80	1
Percentil 85	2
Percentil 90	3

Opción 2 Área de Terreno Permeable (1-3 puntos)

Utilizar técnicas de desarrollo de bajo impacto (LID) para minimizar la cantidad de agua de lluvia que abandona el sitio. Ejemplos de técnicas aceptables incluyen lo siguiente: Áreas de plantación con material vegetal nativo o adaptado, instalar una azotea verde, utilizar pavimentos permeables, instalar características permanentes de infiltración o recolección (por ejemplo, zanja vegetada, jardín de lluvia, cisterna de agua de lluvia) que puedan manejar el 100% de la escorrentía de una tormenta de dos años, con duración de 24 horas.

Área permeable, (% área total del lote)	Puntos
50-64%	1
65-79%	2
≥ 80%	3

Fuente: USGBC (2020). LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes.

Notas: SS: Sustainable Sites

3.4 Evaluación de estrategias

De manera similar, los programas de certificaciones proveen bases y herramientas para evaluar las estrategias. En el caso del PCES, se establecen indicadores de desempeño en la mayoría de los casos. No obstante, en situaciones en las que uno de estos indicadores no sea aplicable, generalmente es posible deducir el cumplimiento a través de la descripción de las metas mínimas o a través de las evidencias requeridas. En paralelo, en el marco de LEED, se presenta siempre un contexto para la evaluación del cumplimiento de los créditos. Este proceso puede incluir una y/o dos opciones, cada una de las cuales puede contener una o más alternativas que, en conjunto, contribuyen a la consecución del crédito correspondiente a esa opción. La flexibilidad y consideración de diversos contextos y posibilidades de esta certificación, que pretende un alcance internacional, se ve reflejada precisamente al proporcionar varias opciones y niveles de puntuación.

LEED, además proporciona, en algunos casos, las herramientas específicas para la evaluación de áreas concretas. Por ejemplo, la “Water Reduction Calculator” (Calculadora de Reducción de Agua) para estimar la demanda de agua y el ahorro del proyecto en interiores; o la “EPA WaterSense Water Budget Tool” (Herramienta de Presupuesto de Agua WaterSense de la EPA) para estimar la demanda de agua y el ahorro del proyecto en exteriores; o la “Rainfall Events Calculator” (Calculadora de Eventos de Precipitación) para planificación de las estrategias para la gestión del agua de lluvia. Además, tanto el PCES como LEED, referencian a prácticas de diseño y fuentes de información, o complementan la información con anexos.

Con base en lo expuesto previamente, se busca analizar la conformidad con un criterio o crédito según lo definido en el contexto del programa correspondiente.

3.5 Uso y balance de agua en el edificio

Las certificaciones de edificación sustentable pueden entenderse como pautas y directrices del diseño. Al mismo tiempo, las estrategias propuestas representan un camino predefinido que se sabe conducen al uso eficiente de los recursos, en este caso, del agua. Este enfoque se basa en la implementación de tecnologías, prácticas o sistemas específicos que reducen el consumo del agua sin necesariamente evaluar las estrategias desde el punto de vista del desempeño del edificio. Por ejemplo, cuando el criterio o crédito se define con base a porcentajes mínimos de áreas del paisaje suave a cubrir con especies nativas o áreas mínimas requeridas de la superficie potencial de captación para el aprovechamiento de agua de lluvia. En un enfoque basado en el desempeño del edificio, las estrategias se evalúan en términos de un porcentaje de reducción del consumo del agua en comparación con un edificio de referencia (línea base). Esto requiere herramientas para estimar el consumo durante la fase de diseño, así como la medición y el registro de datos a lo largo del tiempo.

Principalmente, LEED considera ambos enfoques. A través de su crédito “WE: Reducción del uso del agua” provee dos opciones: la primera se basa en un enfoque de desempeño del edificio, mientras que la segunda se basa en un enfoque prescriptivo.

En relación con esto, se busca evaluar cómo impactan las estrategias en el uso eficiente del agua con relación a las demandas, por lo que se pretende estimar el uso del agua en el edificio con el objetivo de: **1)** calcular el porcentaje de reducción de la demanda de fuentes de agua potable tradicionales en comparación con un edificio de referencia (línea base) y, además; **2)** realizar un balance de agua en el edificio. Para ello se definen tres cantidades a estimar según los objetivos arriba mencionados: el agua reducida, el agua compensada y el agua devuelta. En el primer caso, el porcentaje reducido o ahorro se puede determinar como el agua reducida más el agua compensada (se requiere comparar con una línea base). En el segundo caso, el balance se establece como la diferencia entre el volumen de agua demandado de fuentes de agua potable tradicionales y el agua compensada más el agua devuelta (la comparación es en términos de entradas y salidas para la configuración eficiente del proyecto).

3.5.1.1 Agua reducida

A través de las estrategias que siguen el primer objetivo (reducir la demanda), se busca disminuir el volumen total de agua que requiere el edificio. De manera que el volumen de agua demandado por un edificio bajo un enfoque de eficiencia en agua será menor al volumen demandado por un edificio bajo un enfoque tradicional. En este sentido, el agua reducida se refiere al volumen de agua ahorrado por el proyecto en comparación con un edificio de referencia (línea base). Esto finalmente implicar reducir la demanda de fuentes de agua potable tradicionales.

En primera instancia, estimar el volumen total de agua que requiere el edificio puede ser a través de la dotación mínima de agua. En la Ciudad de México, se determina con base en las NTC. Son aplicables la Tabla 3.1 (Sección 3.1) de las NTC-PA o la Tabla 2.13 (Sección 2.6.2) de las NTC-DEOIH. Su estimación considera una dotación mínima diaria por tipo de unidad (por ejemplo, por habitante, trabajador, metro cuadrado, estudiante, cama, huésped o comida, entre otros) según la tipología del espacio. No obstante, para los fines propuestos, se requieren otras alternativas más detalladas, que proveen el consumo total y la distribución de su uso en el edificio. LEED provee la “Water Reduction Calculator” (Calculadora de Reducción de Agua) y referencia a la “EPA WaterSense Water Budget Tool” (Herramienta de Presupuesto de Agua WaterSense de la EPA) para estimar la demanda de agua y el ahorro del proyecto en interiores y exteriores, respectivamente. Asimismo, el “Proceso de Evaluación Técnica WaterSense para Aprobar Métodos de Certificación de Hogares”, provee otro marco

para estimar la demanda tanto en exteriores como en interiores. Esta basa sus suposiciones en el estudio de Usos Finales Residenciales del Agua (Versión 2) publicado por la Fundación de Investigación del Agua de Estados Unidos (DeOreo, et al., 2016). Ambas alternativas comparten similitudes. En el caso de interiores, LEED deja abierto a variar las suposiciones por unas que mejor se adapten al proyecto, de tal forma que podría pensarse en utilizar las suposiciones de la evaluación del WaterSense en LEED.

3.5.1.2 Agua compensada

Una de las estrategias clave para reducir la demanda de fuentes de agua potable tradicionales es emplear fuentes de agua alternativas. Estas fuentes ayudan a compensar el volumen de agua requerido por el proyecto. Para estimar la cantidad de agua compensada, se pueden utilizar las técnicas descritas en la sección anterior e inferirlas según las estrategias planteadas. Por ejemplo, si se está considerando el tratamiento y reutilización de aguas residuales, el volumen de agua compensada sería igual al volumen de aguas residuales tratadas y reutilizadas en el proyecto. Este volumen se basaría en el número y tipo de muebles sanitarios que generan aguas residuales en el edificio y que ya han sido estimados previamente.

La estimación de la cantidad de agua compensada es esencial para evaluar el impacto de las estrategias de conservación de agua en el proyecto y para determinar en qué medida se reduce la demanda de agua potable tradicional. Esto puede ayudar a demostrar el compromiso del proyecto con la sostenibilidad y la eficiencia en el uso del agua, así como a cumplir con los requisitos de certificaciones de edificación sustentable como LEED o PCES.

3.5.1.3 Agua devuelta

En términos de entradas y salidas, el agua devuelta permite evaluar el balance de agua del edificio. Básicamente se refiere a la cantidad de agua que se ha infiltrado, por ejemplo, agua de lluvia, agua tormenta, agua gris tratada y agua negra tratada. Los volúmenes infiltrados normalmente pueden inferirse a través de las relaciones de demandas, por ejemplo, como se ha planteado anteriormente. Este concepto se discute con mayor detalle en las próximas secciones.

4. Caso de estudio

4.1 Descripción general del proyecto

El edificio propuesto como caso de estudio es una estructura representativa de uso habitacional, ubicado en la Ciudad de México, específicamente en Av. Amores 1722, Colonia del Valle Sur, alcaldía Benito Juárez. El proyecto se desarrolla sobre un predio de 2,190 m² de extensión y de acuerdo con la mazana a la que pertenece, el Índice de Desarrollo Social (IDS) es muy alto. Debido a ello las características del edificio son típicas de una vivienda residencial.

El proyecto lleva por nombre "Blomma Living" y consta de un edificio de viviendas multifamiliares de 6 niveles con departamentos, así como un sótano destinado para estacionamientos. Además, en la planta baja, se incluyen espacios comunes como un gimnasio, un espacio de coworking, un lobby, un área de administración y zonas verdes. La planta tipo del edificio alberga 5 departamentos por nivel, con 3 prototipos de departamentos diferentes: tipo A1, B1 y C1. La **Tabla 4.1-1** detalla la distribución de espacios para cada uno de estos prototipos. Asimismo, la **Figura 4.1-1** a la **Figura 4.1-4** muestra los detalles arquitectónicos del proyecto.

Tabla 4.1-1. Características de tipo de departamentos

Tipo de espacio	Departamentos A1 201-601 205-605	Departamentos B1 202-602 204-604	Departamentos C1 203-603
Balcón	10.47 m ²	12.54 m ²	13.14 m ²
Baño 1	4.50 m ²	4.42 m ²	8.63 m ²
Baño 2	4.42 m ²	2.59 m ²	5.55 m ²
Baño 3	2.59 m ²	6.32 m ²	5.15 m ²
Cocina	8.27 m ²	12.10 m ²	16.68 m ²
Lavandería	2.75 m ²	2.75 m ²	2.88 m ²
Pasillo	8.10 m ²	9.68 m ²	9.54 m ²
Recámara 1	11.43 m ²	14.10 m ²	13.54 m ²
Recámara 2	14.10 m ²	17.00 m ²	18.52 m ²
Recámara 3	17.00 m ²	16.62 m ²	16.28 m ²
Sala-comedor	30.56 m ²	28.36 m ²	30.46 m ²
Vestidor	4.92 m ²	4.92 m ²	-
Total	119.13 m ²	131.42 m ²	140.38 m ²

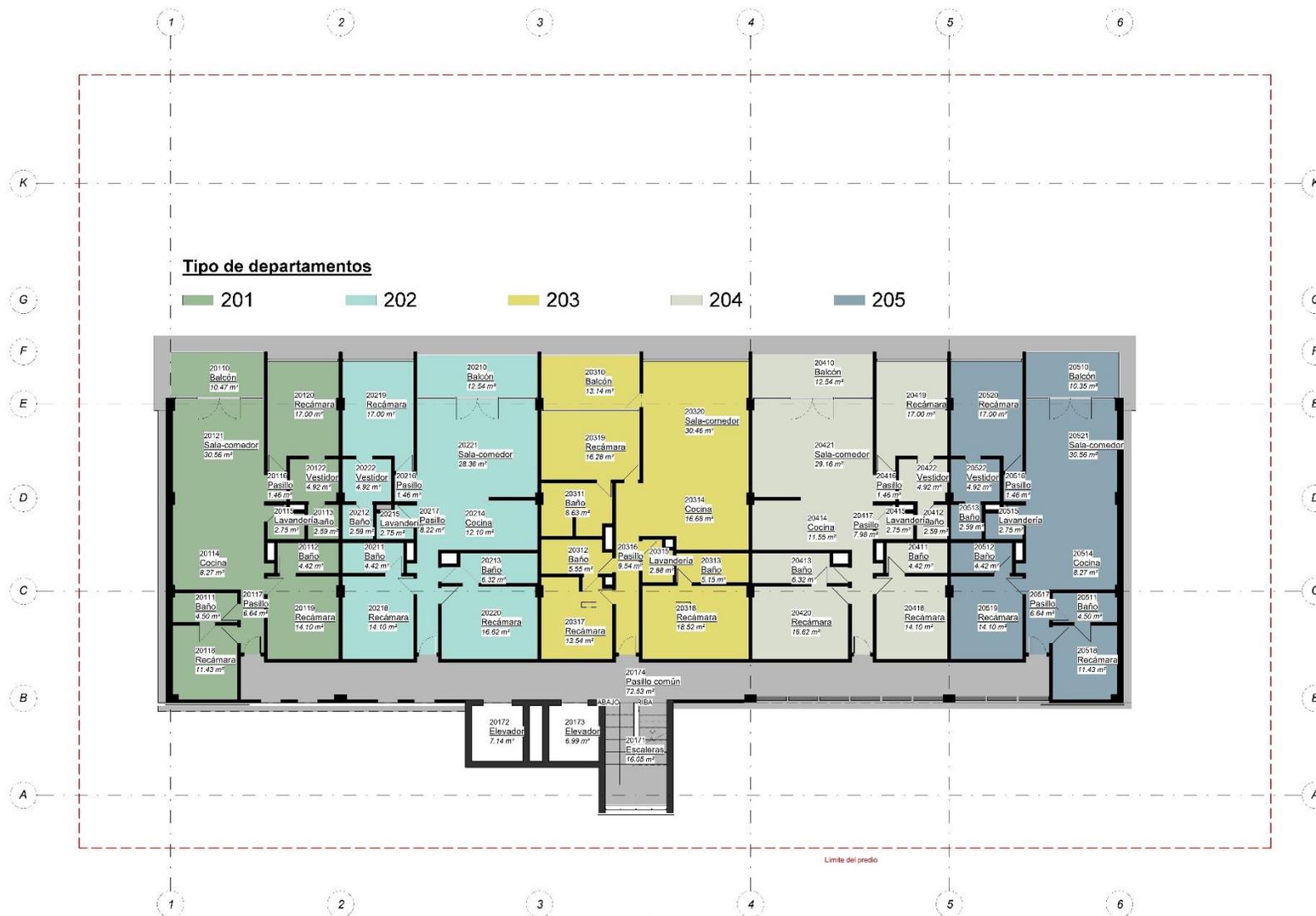


Figura 4.1-1. Planta tipo y distribución de departamentos tipo

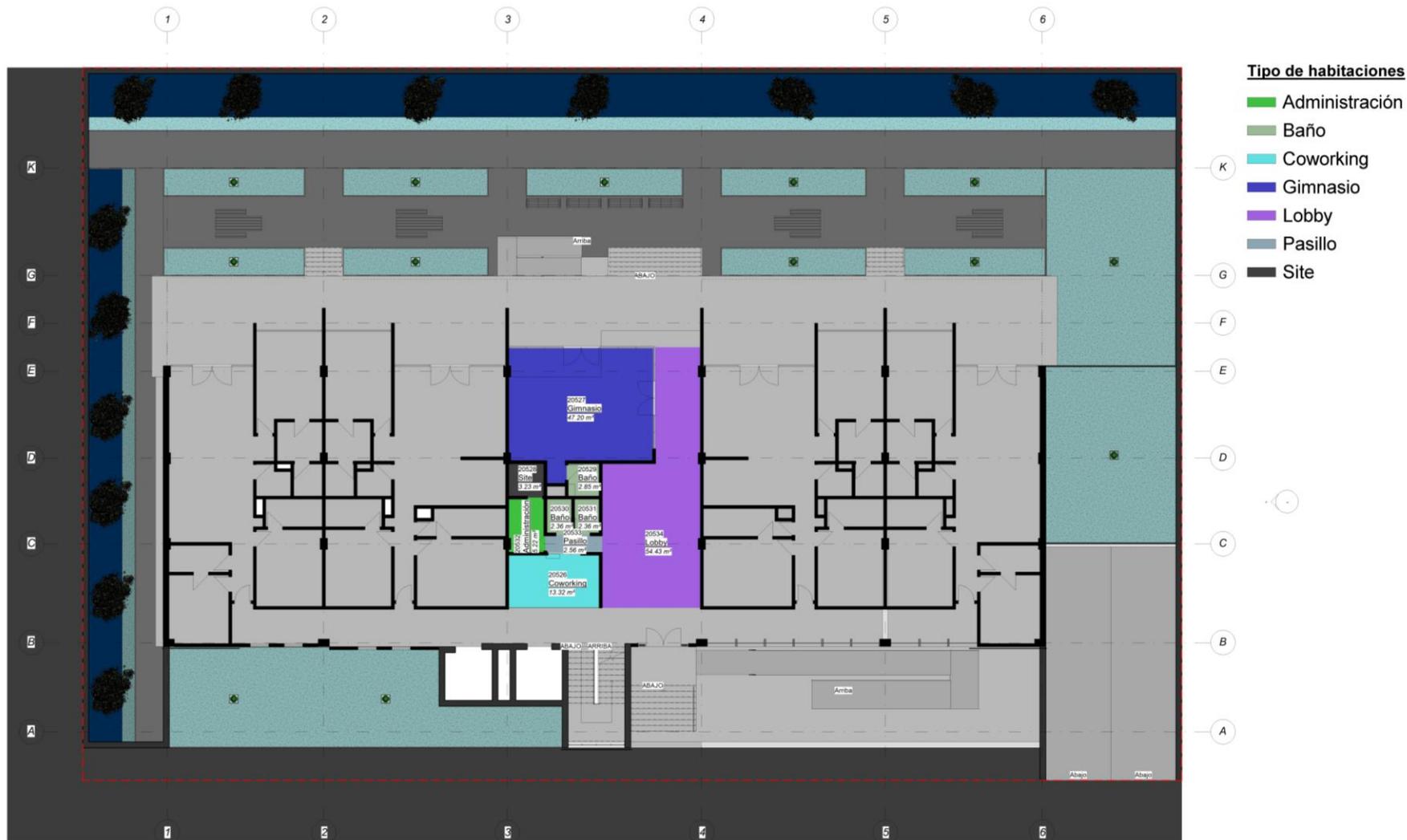
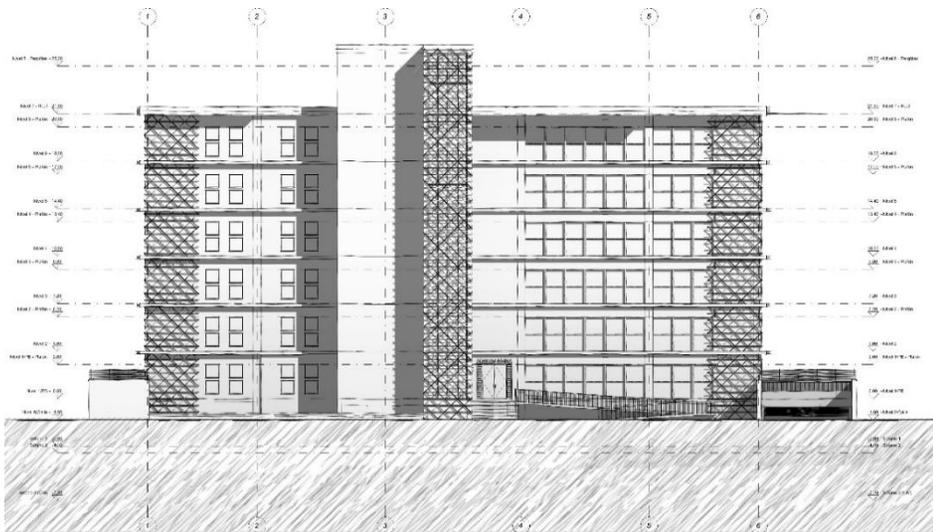
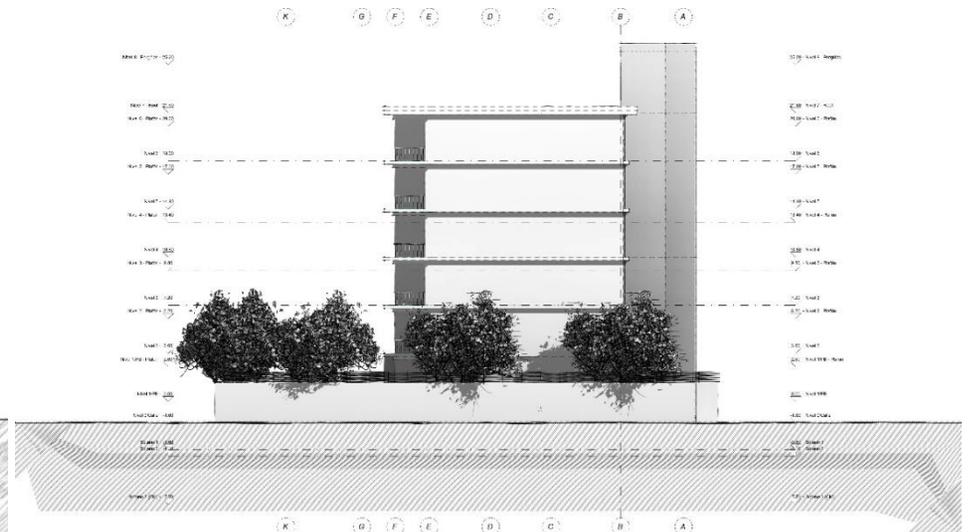


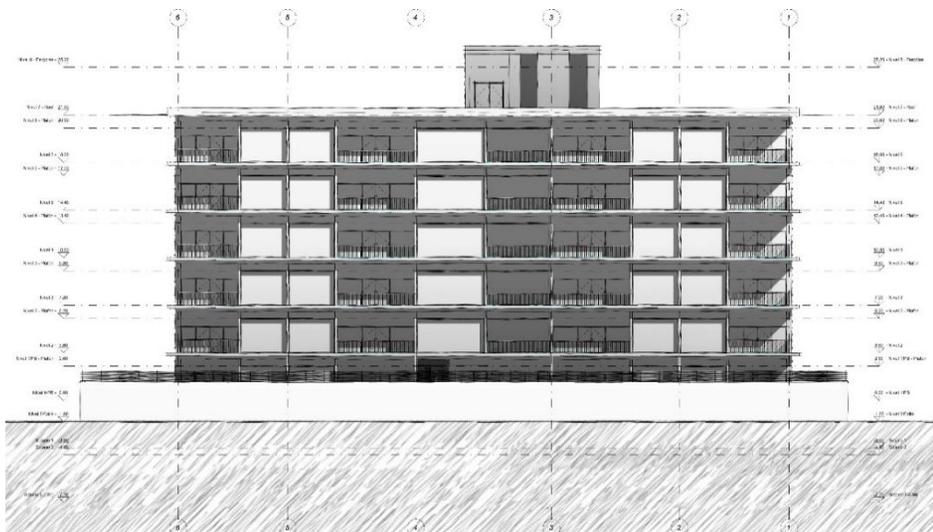
Figura 4.1-2. Planta baja



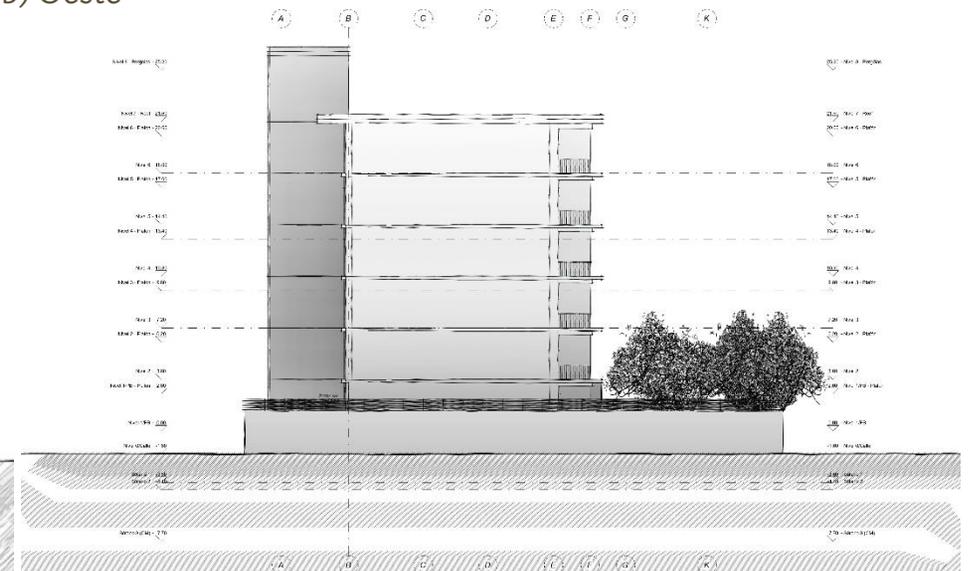
a) Sur



b) Oeste



a) Norte



b) Este

Figura 4.1-3. Alzados

Diseño de un edificio con uso eficiente de agua aplicando criterios de certificaciones

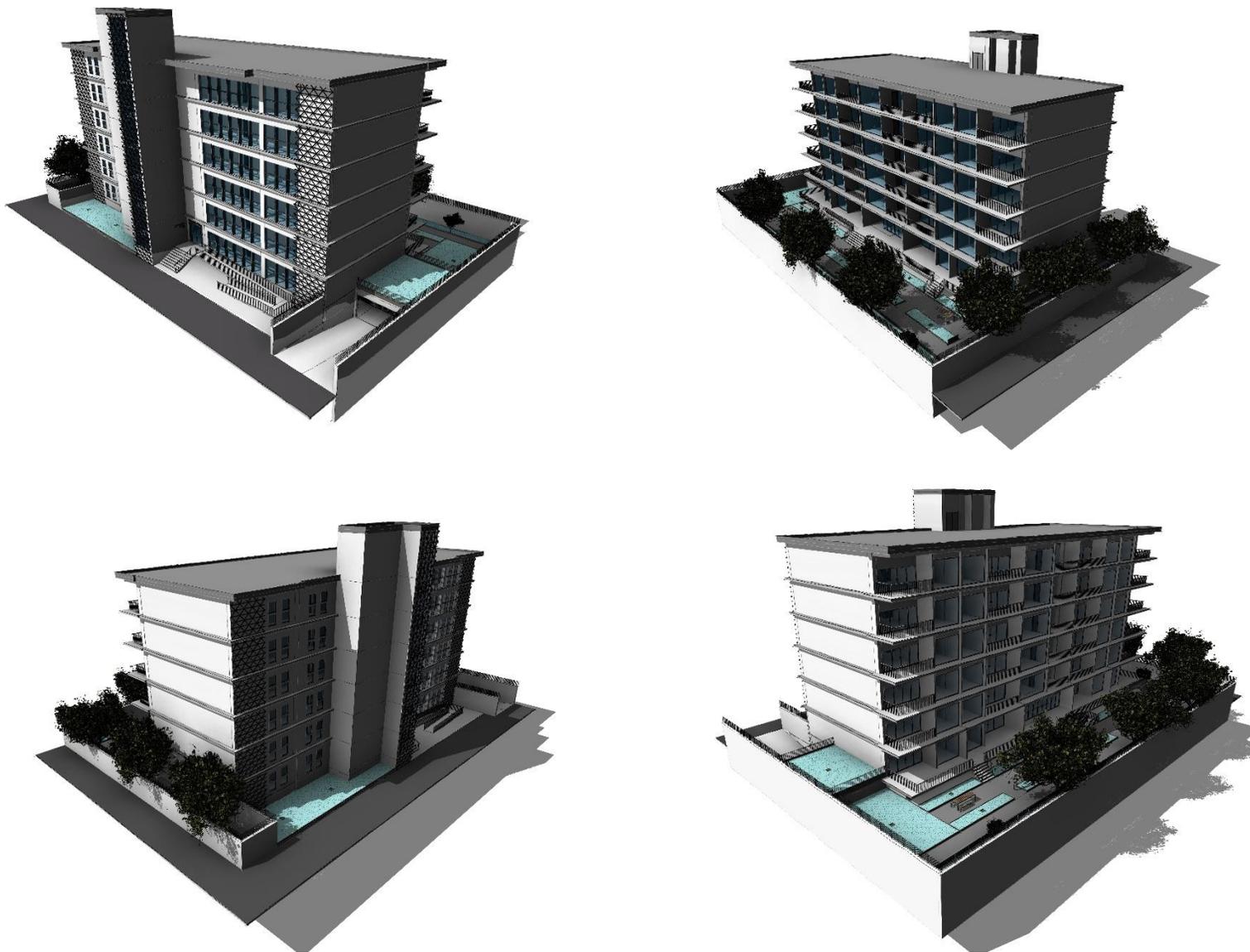


Figura 4.1-4. Isométricos del edificio

5. Resultados

5.1 Recopilación y análisis de información

5.1.1 Tipología del edificio

La finalidad del proyecto, en correspondencia con sus características, es para uso habitacional. De conformidad con lo establecido en la Sección 301 del CEF 2017, la edificación se clasifica según su precio como vivienda residencial y según el número de viviendas por lote como vivienda multifamiliar.

5.1.2 Zonificación de uso de suelo

Dadas las características típicas de las edificaciones en dicha zonas, se presume que el Certificado Único de Zonificación de Uso del Suelo establece para el predio del proyecto la siguiente clave de zonificación: **H/6/20/Z**. Esto significa que el uso de suelo permitido es de tipo habitacional, con hasta 6 niveles máximos de construcción (incluyendo el nivel de planta baja), un área libre de construcción mínima del 20% y una densidad de vivienda mínima de 60 m² de conformidad con el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano vigente para la Alcaldía de Benito Juárez. Además, cabe señalar que, según el Artículo 51 Sección II del RDCF, el proyecto debe solicitar la Manifestación de construcción tipo B: usos habitacionales de hasta 10,000 m².

5.1.3 Fuentes de agua disponibles

Con la finalidad de desarrollar el diseño de este edificio, se asume que la investigación sobre los servicios hidráulicos ofrecidos (fuentes de agua fuera del sitio), conforme al Dictamen de Factibilidad de Servicios Hidráulicos, arroja que en el sitio se cuenta con una red de suministro municipal de agua potable y se carece de una red de suministro municipal de agua regenerada (tratada). Asimismo, que, de acuerdo con las posibles demandas de agua del proyecto, la infraestructura municipal sería capaz de suministrar el caudal requerido. Por otro lado, con base en el tipo de demandas en el proyecto, las fuentes alternativas en el sitio con potencial de aprovechamiento son las aguas negras y/o aguas grises, concentrados, agua de purga, agua de lluvia y agua tormenta. Finalmente, ya que el proyecto no incluye sistemas de climatización ni instalaciones recreativas como piscinas, fuentes u otras estructuras similares, no se prevé la generación de condensados.

5.1.4 Demandas

Las demandas de agua se deben a los siguientes tipos de servicios: por higiene (grifo de lavabo y regadera), cocina (fregadero), saneamiento (inodoro), procesos de agua

(calentador), limpieza (lavadora de ropa), seguridad (hidrantes) e irrigación (sistemas de riego).

5.1.5 Requerimientos de calidad

Se distinguen dos tipos de demandas por abastecer: servicios potables o no potables. Los servicios potables podrán ser regaderas, grifos de baño privado, grifos de baño público, grifos de cocina privada y lavadoras de ropa. Por otro lado, los servicios no potables podrán ser inodoros, riego, limpieza de espacios comunes y lavado de autos. Asimismo, se deberán incluir tres redes de suministro separadas: agua potable, agua residual tratada y agua de lluvia.

Con respecto a las calidades del agua, los servicios potables deberán cumplir con la NOM-127-SSA1-2021, mientras que los servicios no potables, donde se reutilizan las aguas residuales tratadas, deberán cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 CD. Además, la infiltración de agua debe acatar los lineamientos de la NOM-015-CONAGUA-2007, cuando se trate de agua de lluvia; de la NOM-014-CONAGUA-2003 cuando se trate de agua residual tratada.

5.1.6 Clima

Los registros históricos de temperatura y precipitación se obtienen a partir de la red de estaciones climatológicas de CONAGUA. La estación más cercana al proyecto, aproximadamente a 1.7 km, es la "9070: Campo Experimental Coyoacán" (**Figura 5.1-1** y **Figura 5.1-2**). Con base en los datos de la Normal Climatológica 1951-2010, los valores más altos de temperatura máxima mensual, normal (media) y mínima mensual son de 30.5 °C en el mes de mayo, 19.2 °C en el mes de mayo y 11.4 °C en el mes de junio, respectivamente. Con relación a la precipitación, media anual corresponde a 839.3 mm, siendo el mes de julio el que presenta el mayor valor con 170.9 mm. Otros datos específicos del clima se abordan en las secciones correspondientes.

5.1.7 Características del suelo

El predio del proyecto se ubica en Zona II o zona de transición, según la zonificación geotécnica de las NTC-DCE 2017. La zona se caracteriza por estar constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros. Se supone que la textura del suelo en su capa más próxima podría ser "Franco arenoso" o "Arena" según el NCRS. Asimismo, el nivel de aguas freáticas se supone a 6 m de profundidad.

5.1.8 Normatividad aplicable

En el contexto de la Ciudad de México, el RCDF y sus NTC son en primera instancia las disposiciones legales que rige las obras de construcción, instalación, ampliación reparación y demolición. Estas, además, están sujetan a las disposiciones de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal y su Reglamento.

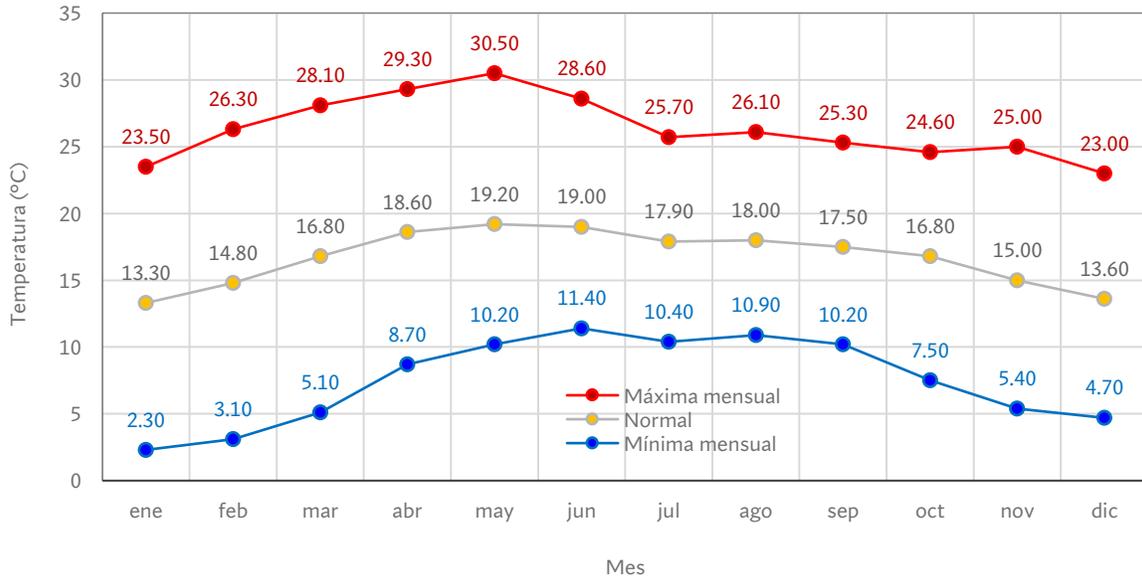


Figura 5.1-1. Temperaturas máxima, normal y mínima mensual.

Fuente: NC 9070, CONAGUA

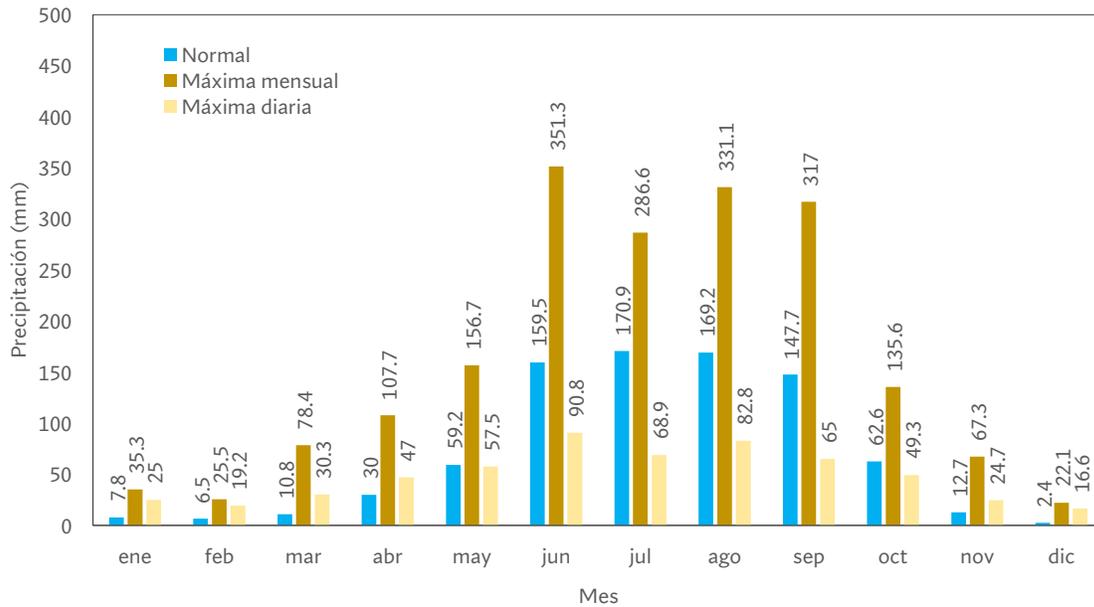


Figura 5.1-2. Precipitaciones media y máxima mensual y máxima diaria

Fuente: NC 9070, CONAGUA

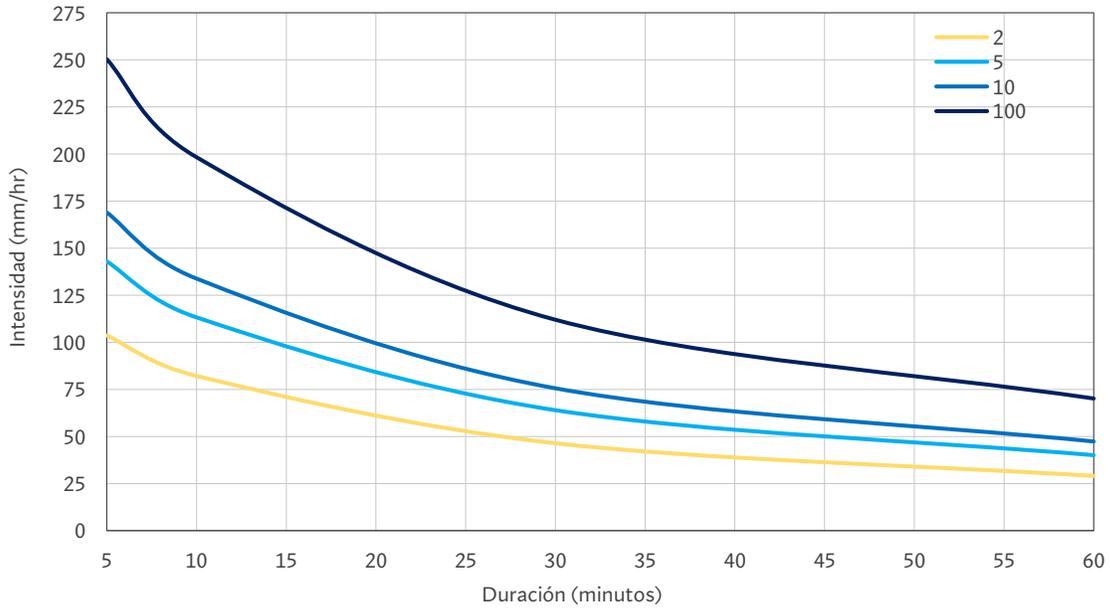


Figura 5.1-3. Curvas IDTRr

Determinadas a partir de los datos históricos de la estación 9070, CONAGUA

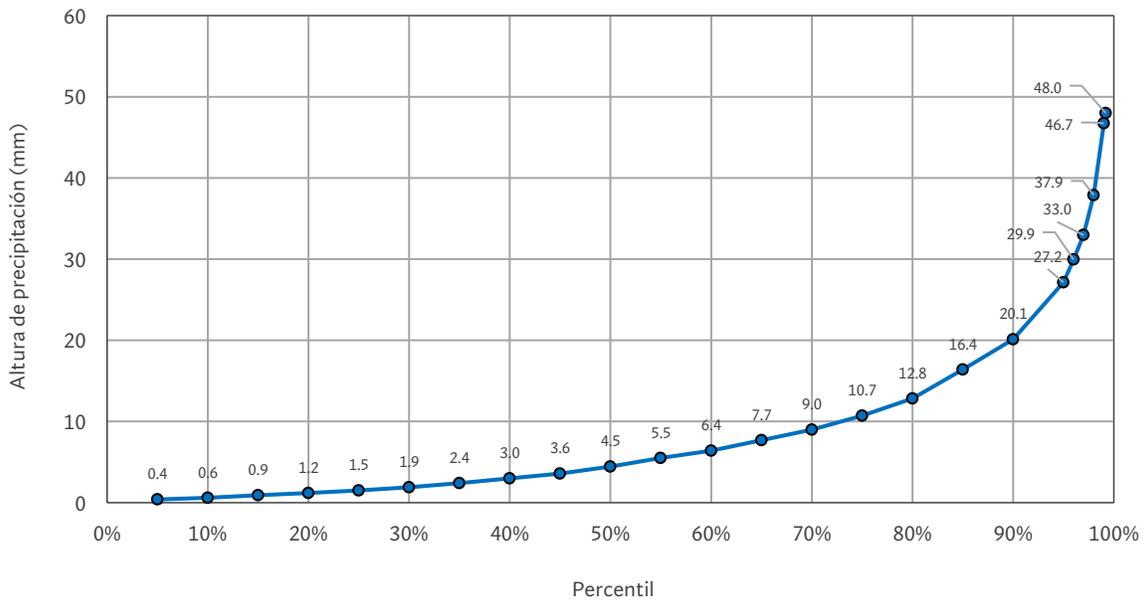


Figura 5.1-4. Análisis de eventos de lluvia

Determinada a partir de los datos históricos de la estación 9070, CONAGUA

5.2 Definición de objetivos y metas

Con base en lo discutido anteriormente, el proyecto establece como objetivos los siguientes:

- Reducir la demanda
- Utilizar fuentes de agua alternativas
- Devolver el agua y
- Medir el agua

5.3 Planteamiento de estrategias

5.3.1 Reducir la demanda

Se abordan los criterios:

- PCES:
(11 ob.) Elementos ahorradores de agua (hidrosanitarios) y
(9 vl.) Sistemas de riego eficientes.
- LEED:
(WE prerequisite) Reducción del uso del agua
(WE) Reducción del uso del agua

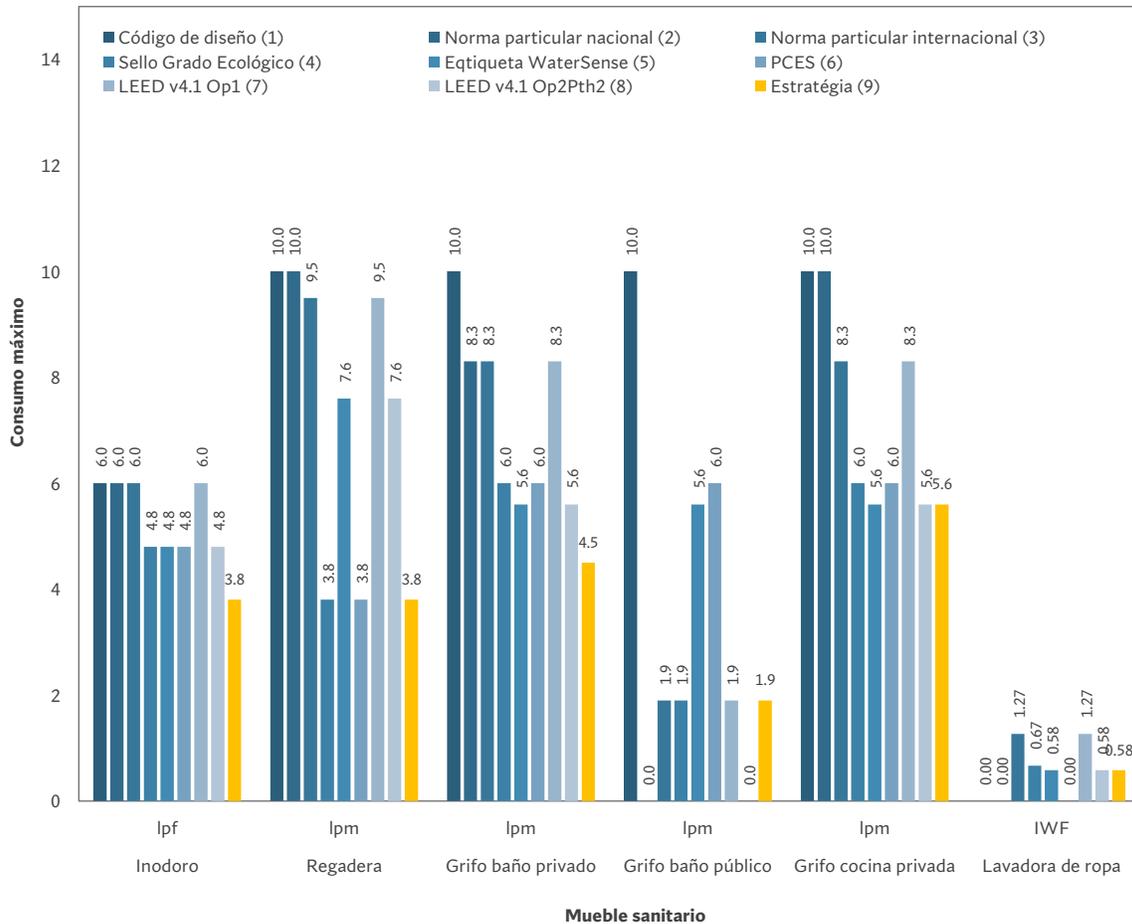
5.3.1.1 Reducción del uso de agua en interiores

La principal variable para modificar la demanda en el interior se refiere a la selección de muebles sanitarios a usar en el proyecto. Por lo tanto, la estrategia para reducir dicha demanda consiste en seleccionar muebles sanitarios de menor consumo al tradicional. Esta selección fundamentalmente considera los requerimientos estéticos, de funcionalidad y de calidad que podrían estar indirectamente establecidos por las características generales del edificio y las expectativas de los usuarios objetivos que el proyecto busca atender, además de considerar las condiciones del mercado y el presupuesto disponible. Por un lado, el PCES aborda este tema a través del criterio 11 ob. - Elementos ahorradores de agua (hidrosanitarios), mientras que, por otro lado, LEED lo hace a través del crédito (WE) Reducción del uso del agua. Ambas certificaciones definen consumos máximos para cada mueble sanitario para la configuración ahorradora. Estos límites no son arbitrarios, sino que se basan en nuevas certificaciones derivadas de esta necesidad, pero ahora enfocadas en los productos, de modo que se garanticen beneficios respecto de los tradicionales, en este caso, un menor consumo de agua. En el PCES es el Sello Ecológico y en LEED es la etiqueta de WaterSense. Los límites para la configuración tradicional están indirectamente establecidos por las normas que rigen a cada producto.

Con base a lo anterior, los muebles sanitarios seleccionados para el proyecto se muestran en la **Tabla 5.3-1**. Asimismo, la **Figura 5.3-1** muestra la comparativa entre los consumos límites establecidos por las regulaciones (líneas base), los consumos límites establecidos por las certificaciones el PCES y LEED (metas), así como de los consumos de los muebles sanitarios seleccionados (configuración propuesta).

Tabla 5.3-1. Muebles sanitarios del proyecto.

Mueble sanitario	Modelo	Proyecto	PCES	LEED v4.1 Op. 2, Alt. 2	LEED v4.1 Op. 1 (LB)
Inodoro	Helvex Olimpia	3.8 lpf	4.8 lpf	4.8 lpf (4.1)	6.0 lpf
Regadera	Moen Zarinba 6345	3.8 lpm	3.8 lpm	7.6 lpm (6.6)	9.5 lpm
Grifo baño privado	Moen Siena LAT15122	4.5 lpm	6.0 lpm	5.6 lpm	8.3 lpm
Grifo baño público	Helvex TV122-1.9	1.9 lpm	6.0 lpm	-	1.9 lpm
Grifo cocina privada	Moen Sinema 7235	5.6 lpm	6.0 lpm	5.6 lpm	8.3 lpm
Lavadora de ropa	Samsung A21B3544GV/AX	0.58 IWF	-	0.58 IWF	1.27 IWF

**Nota(s):**

(1) De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias: Proyecto Arquitectónico, Sec. 6.1.2.

(2) Las normas aplicables son:

Inodoro: De acuerdo con la NOM-009-CONAGUA-2001, Sec. 6.11.

Regadera: De acuerdo con la NOM-008-CONAGUA-1998, Sec. 8.4.2.

Grifo baño privado: De acuerdo con la MMX-C-415-ONNCCE-2015 Sec. 5.7.

Grifo baño público: De acuerdo con la MMX-C-415-ONNCCE-2015 Sec. 5.7.

Grifo cocina privada: De acuerdo con la MMX-C-415-ONNCCE-2015 Sec. 5.7.

Lavadora de ropa: De acuerdo con la NMX-AA-158-SCFI-2011, Sec. 5.1.

(3) De acuerdo con el Code of Federal Regulations (CFR), 10 CFR Part 430.32 o con The Energy Policy Act (EPA) de 1992.

(4) El consumo para grado ecológico se indica en la norma particular de cada mueble.

(5) Con base a las especificaciones de WaterSense.

(6) De acuerdo con el PCES, Anexo 1. Punto 11.

(7) LEED v4.1 Op1: Según WE: Water Use Reduction Option 1. Tabla 1.

(8) LEED v4.1 Op2Ph2: Según WE: Water Use Reduction Option 1 y Path 2.

(9) Los modelos elegidos son:

Inodoro: Helvex Murano

Regadera: Moen Zarinba 6345

Grifo baño privado: Moen Siena LAT15122

Grifo baño público: Helvex TV122-1.9

Grifo cocina privada: Moen Sinema 7235

Lavadora de ropa: Samsung WA21B3544GV/AX

Figura 5.3-1. Consumos de muebles sanitarios.

5.3.1.2 Reducción del uso de agua en exteriores

Otra alternativa para reducir el consumo de un edificio es mediante el diseño del paisajismo adecuado y un sistema de riego eficiente. Por un lado, se busca reducir las grandes demandas por áreas tradicionalmente basadas en césped o especies invasoras o exóticas, procurando remplazarlas por especies adaptadas o nativas de la región. El otro camino, pretende lograr la gestión adecuada del recurso a través del diseño correcto de un sistema de riego eficiente, su instalación adecuada y el mantenimiento suficiente. Algunos ejemplos son los sistemas de riego de bajo flujo y bajo volumen como el riego por goteo y por microaspersión. Otras prácticas incluyen: sistemas de control de riego basados en el clima, basados en la humedad del suelo, con controles centralizados; o que incluyen tecnología para la detección de lluvia (sensores de retraso de lluvia), viento o congelación.

El PCES considera esto a través del criterio “(9 vl.) Sistemas de riego eficientes”. Propone implementar sistemas automatizados o eficientes, como riego por microaspersión o goteo. Asimismo, establece a través del criterio “(19 ob.) Fomento a la posesión de plantas nativas de la ciudad de México”, el requerimiento de implementar una política que favorezca la adquisición y posesión de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas, nativas (conforme al listado establecido en el anexo 4 del PCES). Si el paisajismo se basa en especies vegetales propias de la región, esto significa que los beneficios en torno al uso eficiente del agua se incrementan. Por otro lado, LEED propone reducir el consumo de agua en espacios exteriores, a través del crédito “(WE) Reducción del uso del agua”, al establecer un área mínima de plantas nativas o adaptadas empleadas en el paisaje blando. Asimismo, para fines de contabilización del ahorro de agua asociado a las estrategias de paisajismo, el cálculo puede ser modificado hasta para una reducción del 30% si se considera la instalación de controladores con sensores de humedad o basados en clima.

Se propone que las áreas verdes del edificio incluyan azoteas verdes y un sistema de biorretención (jardín de lluvia). En ambos casos, la selección de las especies se hará utilizando plantas nativas. Es especialmente importante que el jardín de lluvia sea efectivo en la captura y filtración del agua escurrida y que, al mismo tiempo, sea estéticamente atractivo. Se utilizará un sistema de riego por microaspersión. Además, se plantea que el proyecto gestione toda el agua proveniente de las superficies de escurrimiento en el edificio a través del jardín de lluvia y pavimentos permeables. Las superficies de aportación abarcan no solo los propios mecanismos mencionados, sino también las azoteas verdes y los pavimentos impermeables ubicados en áreas exteriores sobre la losa de estacionamiento que se extiende más allá de la huella de los departamentos. Además, el agua tratada en exceso será infiltrada después de pasar por el jardín de lluvia. Los detalles del diseño se presentan más adelante, en la **sección 5.6.**

5.3.2 Utilizar fuentes de agua alternativas

Se abordan los criterios:

- PCES:
 - (10 ob.) Captación y uso de aguas pluviales
 - (13 ob.) Tratamiento de aguas residuales y reúso
 - (8 vl.) Reducción de las descargas de agua (sistema de recirculamiento de agua).
- LEED:
 - (IP) Proceso integrativo
 - (SS) Gestión del agua de lluvia
 - (WE) Reducción del uso del agua

5.3.2.1 Agua de lluvia

En la Ciudad de México, resulta de gran relevancia considerar el agua de lluvia como una potencial fuente de agua alternativa. La gestión de esta fuente de agua demanda la implementación de infraestructura para su captación, conducción, almacenamiento, retención y tratamiento con el propósito de utilizarla tanto en servicios no potables como potables, así como para evapotranspirar, o bien, para infiltrar. En esta sección particularmente se discute el agua de lluvia como fuente de agua alternativa.

En el ámbito de las certificaciones, el PCES aborda este tema mediante el criterio “(10 ob.) Captación y uso de aguas pluviales”, mientras que LEED lo trata, principalmente, a través del crédito “(SS) Gestión del agua de lluvia”, cubriendo los requerimientos y posibilidades. El alcance de LEED con este crédito es más extenso ya que engloba toda la gestión del agua de lluvia (infiltración, evapotranspiración y reutilización), mientras que el PCES sólo se refiere a ésta última (aunque el uso en riego puede llevar a la evapotranspiración); los propósitos restantes son sujetos de otros créditos. Además, LEED también hace mención del uso del agua pluvial en términos de su aporte, por medio del crédito “(IP) Proceso Integrativo”. En este crédito, se solicita llevar a cabo un análisis preliminar para evaluar el volumen de suministro de agua pluvial y su contribución a la demanda del edificio.

En la captación y reutilización, el enfoque del PCES se plantea como resultado exclusivo de un área con cobertura mínima del 80% de las superficies con potencial de captación, mientras que el enfoque de LEED apunta hacia la gestión, ya sea para el sistema de captación y/o para el sistema de infiltración, del 100% de la escorrentía producida por una tormenta con una intensidad que al menos corresponda al percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales, para la opción 1; o bien, de una

tormenta de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 2 años para la opción 2.

Como se ha enfatizado a lo largo de este trabajo, la normatividad moldea el contexto de un proyecto, de modo que, según el Artículo 86 BIS 1 de la Ley Del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad De México, las nuevas construcciones que requieran una manifestación de construcción tipo B (como en el caso del proyecto), tipo C o especial, deben incluir de manera obligatoria sistemas alternativos.

El diseño de los elementos de la instalación de un sistema alternativo se aborda con detalle en la Guía de Elaboración de Sistemas Alternativos de SACMEX del año 2023. Conforme a este documento, en lo que respecta a las manifestaciones de construcción tipo B, se requieren obligatoriamente un sistema de reutilización para el agua captada y el aprovechamiento de agua (pluvial) tratada. Con relación a la reutilización de agua pluvial, esta práctica puede ser destinada a servicios potables o no potables, lo cual esté sujeto a los tipos de superficies, que, a su vez, dependen de las fuentes de captación. Las superficies pueden ser clasificadas en 3 clases y el agua pluvial puede ser reutilizada conforme a lo siguiente: en la clase 1 (cubiertas limpias) en servicios potables o no potables; en la clase 2 (cubiertas no limpias o cubiertas verdes), su aplicación en servicios potables está condicionada a la implementación de un proceso de potabilización avanzado que cumpla con la NOM-127-SSA1-2021, además se puede usar en servicios no potables; y en la clase 3 (pavimentos privados) se permite su uso en servicios no potables sólo si se incorpora un proceso de tratamiento que cumpla con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Con base en la guía del SACMEX 2023, tanto la cisterna pluvial (para superficies de clase 1 y/o 2) como el tanque tormenta (para superficies de clase 3) se diseñan con el propósito de almacenar la escorrentía de una tormenta provocada por una intensidad de 60 minutos y 10 años. Por un lado, la cisterna pluvial se diseña para almacenar el volumen generado por el área total tributaria, mientras que, por otro lado, el tanque tormenta se diseña para almacenar el volumen generado por el 100% de las superficies de aportación, más un 25% del volumen de la cisterna pluvial.

En comparación con lo propuesto por las certificaciones, las especificaciones del SACMEX son más conservadoras. De acuerdo con la **Figura 5.1-4**, la altura de precipitación correspondiente al evento de lluvia en el percentil 90 (que es el que otorga más puntos) es de 20.11 mm, mientras que, de acuerdo con la **Figura 5.1-3**, la altura de precipitación asociada a una tormenta de 60 minutos y 10 años es de 48 mm (representa el evento de lluvia en el percentil 99). Esta discusión gira en torno a la capacidad y redundancia de la infraestructura de captación, lo cual, ciertamente difiere al volumen aprovechado. El análisis de este aspecto se desarrolla más adelante.

En consideración con todo lo expuesto, el proyecto debe reutilizar el agua de lluvia como fuente de agua alternativa. Se propone su uso en servicios potables. De manera resumida, la instalación de sistema alternativo para este propósito se describe de la siguiente manera: el agua de lluvia, recolectada por la totalidad de la superficie de azoteas (clase 1), se conduce inicialmente al sistema de drenaje aéreo. Este proceso inicia por las coladeras de azoteas, que posteriormente se conectan a las bajadas de agua pluvial (BAP) y finalmente desembocan a un colector principal. El sistema de drenaje aéreo de aguas pluviales sólo conduce agua de lluvia. Al final del colector se encuentra un sistema de pretratamiento, que está compuesto por un prefiltro y un sistema de vórtice (que al mismo tiempo funciona como separador de primeras lluvias). A continuación, el sistema de pretratamiento se conecta a una cisterna pluvial que incluye un reductor de turbulencias, una válvula antirretorno y un sistema de rebose para la evacuación de demasías. Enseguida, el agua es trasladada por una bomba a un proceso de potabilización que cumple con la NOM-127-SSA1-2021, el cual se basa en un filtro de 20 μm , un filtro de 5 μm y un dosificador de cloro. Finalmente, el agua es transvasada a la cisterna de agua potable, donde pretende atender las demandas de los servicios de agua potable: regaderas, grifos de baño privado, grifos de baño público, grifos de cocina privada y lavadoras de ropa. Los detalles del diseño se presentan más adelante, en la **sección 5.6**.

5.3.2.2 Aguas grises

Otra fuente de agua alternativa con gran potencial de aprovechamientos es el agua gris. En el contexto del PCES, el criterio que mejor asemeja a este propósito es el “(8 vl.) Reducción de las descargas de agua (sistema de recirculamiento de agua)”. No obstante, el enfoque se limita a un sistema de tratamiento destinado al agua proveniente de lavanderías y su reutilización en esta actividad. En este caso, resulta más pertinente su aplicación cuando se hace referencia a lavadoras comerciales, de carga múltiple y extractoras, es decir, sistemas centralizados, en lugar de lavadoras residenciales. En el caso de LEED, el uso de aguas grises se plantea en la opción 1 en el crédito “(WE) Reducción del uso del agua”. Esta opción propone un enfoque integral que involucra prácticas de diseño y tecnologías eficientes en todos los aspectos para lograr ese propósito, incluyendo el uso de fuentes de agua alternativas. En la forma en que se plantea, se presume que cuando se refiere a reducir la demanda, supone reducir la demanda de fuentes de agua potable tradicionales, lo que se puede lograr a través de disminuir el volumen total de agua que requiere el edificio y/o de compensarlas con fuentes de agua alternativas. A diferencia de la opción 1, la alternativa 2 ofrece una ruta más pragmática y adaptable para cumplir con el objetivo de reducir la demanda, centrándose en áreas específicas: tanto los espacios exteriores como interiores.

Suponer el tratamiento y reutilización de las aguas residuales como fuentes alternativas debe contemplar la interrelación en la gestión de cada una de ellas. La estrategia para el manejo de aguas negras y aguas grises tiene las siguientes opciones: combinarlas y aplicar un sólo tren de tratamiento, mantenerlas separadas y aplicar un tren de tratamiento para cada una, o mantenerlas separadas y aprovechar sólo una de ellas. No obstante, las implicaciones afectan el tren de tratamiento, la operación y el mantenimiento. La decisión está condicionada a las factibilidad técnica, económica y ambiental, así como a la legislación.

En el contexto normativo, queda claro que el uso de agua residual tratada es obligatorio para construcciones tipo B y C, siendo posible su obtención de alguna de las siguientes formas: una planta de tratamiento de aguas residuales municipal, una planta de tratamiento de aguas residuales propia o una planta de tratamiento de aguas residuales de terceros. Por el contrario, los requerimientos de una planta de tratamiento de aguas residuales propia no lo son tanto. Según el Artículo 86 de la Ley Del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad De México: “El Sistema de Aguas promoverá ante los usuarios prioritariamente el desarrollo de la infraestructura que permita el mayor aprovechamiento de las aguas residuales tratadas, siempre que se justifique técnica, económica y ambientalmente”. En un ámbito más específico, sobre la edificación sustentable, la NMX-AA-164-SCFI-2013 (de aplicación voluntaria), señala en la sección 5.2.3.7 que hasta un 30 % de las aguas residuales se pueden enviar al alcantarillado público, mientras que el resto se envía a una planta de tratamiento. Asimismo, conforme a la sección 5.2.3.10, cualquier edificación mayor a 2500 m² debe contar con una planta de tratamiento de aguas residuales y debe considerar el manejo de lodos. Finalmente, con relación a la evacuación de las aguas, el Artículo 35 III c). de la Ley Del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad De México complementa señalando lo siguiente: “En las nuevas construcciones, [...] se deberán de efectuar las instalaciones [...], a efecto de que cuenten con drenajes separados, uno para aguas residuales y otro para grises o pluviales”.

En los que respecta a las certificaciones y los requerimientos de una planta de tratamiento, en el PCES, los criterios “(13 ob.) Tratamiento de aguas residuales y reúso” y “(12 ob.) Tratamiento de aguas residuales generadas fuera de la edificación establecen de manera obligatoria el tratamiento de todas las aguas residuales”. No así en LEED, que deja abierto el tratamiento de las aguas residuales para lograr la certificación, ciertamente lo considera como un aspecto relevante más no obligatorio.

La estrategia para la gestión de aguas residuales del proyecto propone la separación de aguas negras y aguas grises, y sólo el tratamiento y reutilización de las aguas grises. Tomando como base la distribución de agua en un edificio del WFR, la contribución de las aguas grises representa más del 50%, mientras que las aguas negras constituyen

un 24%. Las aguas procedentes de regaderas, grifos de baño privado, grifos de baño público, grifo de servicio y lavadoras de ropa se descarga a una red de drenaje sanitario. Inicialmente, cada mueble desagua hacia un ramal horizontal; posteriormente, las aguas son conducidas a una bajada de aguas grises (BAG) y, finalmente, son descargadas a un colector principal. Este elemento dirige al agua hacia un tanque de regulación de una planta de tratamiento. El tren de tratamiento está compuesto por una bomba, un dosificador de oxidante (basado en hipoclorito sódico), un filtro de discos de 130 μm , una membrana de ultrafiltración de 0.08 μm y un dosificador de hipoclorito. Al final, el agua del efluente tratado se bombea hacia una cisterna de agua tratada, para luego ser reutilizada en servicios no potables, como inodoros, riego, limpieza de espacios comunes y lavado de autos. Los detalles del diseño se presentan más adelante, en la **sección 5.6**.

5.3.3 Devolver el agua

Se abordan los criterios:

- PCES:
(10 vl.) Superficie permeable dentro de la edificación
(11 vl.) Superficie permeable en banquetas y vialidades
- LEED:
(IP) Proceso integrativo
(SS) Gestión del agua de lluvia

5.3.3.1 Infiltración de agua pluvial y tratada

En la sección previa, se trató el agua de lluvia como fuente de agua alternativa. En esta sección, se explora otro aspecto complementario sobre la gestión del agua de lluvia: el concepto de agua devuelta. Este término hace referencia al agua que se infiltra al subsuelo, y su alcance no se limita exclusivamente al agua de lluvia, sino que también puede incluir al agua tratada.

En el ámbito de las certificaciones, el PCES aborda el tema de la gestión del agua de lluvia complementándolo con otros dos criterios: “(10 vl.) Superficie permeable dentro de la edificación” y “(11 vl.) Superficie permeable en banquetas y vialidades”. En el primer caso, el enfoque busca atender el uso del área libre de construcción, para lo cual es establecida como área verde permeable accesible a los usuarios. En el segundo caso, se busca asegurar la infiltración atendiendo otros espacios que suelen ser ejemplos típicamente de la infraestructura gris en un edificio. Por su parte, LEED desarrolla los temas del agua de lluvia tanto como fuente de agua alternativa como agua devuelta en el mismo criterio: “(SS) Gestión del agua de lluvia”. En este crédito se propone el aprovechamiento del agua de escorrentía como agua devuelta a través

de distintas estrategias que utilicen prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID)/ infraestructura verde (GI), como jardines de lluvia con especies nativas, naturación de azoteas o pavimentos permeables. No obstante, en ambas certificaciones, el enfoque únicamente atiende el aprovechamiento del agua de lluvia, sin mencionar la reutilización del agua tratada.

En el caso de reutilizar las aguas para su infiltración en el subsuelo es fundamental atender las obligaciones normativas en esta materia. En el contexto de obras o actividades que involucren la infiltración mediante la disposición de aguas pluviales y escurrimientos superficiales al suelo y subsuelo, se debe cumplir con las características y especificaciones establecidas en la NOM-015-CONAGUA-2007. Además, en el caso de la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada debe apegarse a lo establecido en la NOM-014-CONAGUA-2007.

Asimismo, los requerimientos para implementar un sistema de infiltración se encuentran estipulados en el Artículo 125 Bis de la Ley Del Derecho al Acceso, Disposición y Saneamiento del Agua de la Ciudad De México: “En las edificaciones nuevas [...], conforme a la zonificación [...] será obligatorio contar con sistemas de cosecha y recarga de aguas pluviales al subsuelo que permitan su infiltración”. De ahí que se haya incluido el sistema de retención e infiltración pluvial de manera obligatoria en el sistema alternativo para edificios con manifestación tipo B, C o especial. Por otro lado, de acuerdo con la Norma General de Ordenación 4, es importante considerar los aspectos para la no infiltración, ya sea por dificultad de infiltración, por infiltración de sustancias contaminantes o por procedimiento constructivo.

El diseño del sistema alternativo, de acuerdo con la guía del SACMEX 2023, no contempla estrategias de retención e infiltración pluvial. La versión anterior del año 2021 mencionaba la implementación de bio-retenciones (jardines de lluvia, galerías infiltrantes, parques hídricos), tanques de infiltración y pozos de absorción.

Por otra parte, el sistema de retención e infiltración se diseña con el objetivo de gestionar la escorrentía (procedente de las áreas de aportación arriba mencionadas) de una tormenta con una duración de 60 minutos y T_r de 10 años. Adicionalmente, el gasto de infiltración pluvial puede calcularse considerando el volumen generado por el 100% de las superficies de aportación junto con un 25% del volumen de la cisterna pluvial. Se establece que el sistema debe drenar el gasto de infiltración en un lapso de 18 horas y en caso de superarlo, se podrá emplear un sistema de bombeo que drené el volumen restante hacia el drenaje municipal en un lapso máximo de 3 horas a 30 l/s. En comparación con las certificaciones, el PCES no proporciona detalles acerca de estas consideraciones de diseño. Por su parte, en el caso de LEED, las estrategias deben ser capaces de gestionar, ya sea entre el sistema de captación y/o entre el sistema de infiltración, el 100% de la escorrentía producida por una tormenta con una

intensidad que al menos corresponda al percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales, para la opción 1; o bien, de una tormenta de 24 horas de duración con un periodo de retorno de 2 años para la opción 2.

De conformidad con lo desarrollado en esta sección, se propone un sistema de retención e infiltración superficial para gestionar el agua tormenta basado en biorretenciones, en este caso, un jardín de lluvia, además se complementa con un tanque de infiltración. La estrategia se describe a continuación: El agua tormenta se conduce al jardín de lluvia, ahí primero el agua pasa por la paleta vegetal (basada en especies nativas), luego por la capa de tierra vegetal y finalmente por una capa de retención de materiales pétreos. Después el agua ingresa a un tanque de infiltración, el cual incrementa la capacidad de retención. Finalmente, el agua escurre hacia el subsuelo. Las áreas de aportación incluyen la escorrentía de andadores en área libre (zonas recreativas y azoteas naturadas de planta baja), pavimentos, estacionamiento y excedencias del sistema de captación pluvial. Se contempla una estrategia similar para la infiltración de las aguas grises tratadas. El agua se bombea desde la cisterna de agua tratada para inundar el área verde. Los detalles del diseño se presentan más adelante, en la **sección 5.6**.

5.3.4 Medir el agua

Se abordan los criterios:

- LEED:
 - (WE prerrequisito) Medición de Agua Nivel de Edificio
 - (WE) Medición de agua

5.3.4.1 Accesorio para medición, monitoreo y control

El monitoreo y control del consumo de agua permite identificar oportunidades de mejora en el desempeño de un edificio. Los programas de certificaciones consideran este punto directa o indirectamente. En el caso del PCES, la información se presenta como un complemento de ciertos criterios, indicando la instalación de un medidor de flujo, aunque no se especifican las características para dichos elementos. Los criterios en los que se mencionan son: “(10 ob.) Captación y uso de aguas pluviales”, “(12 ob.) Tratamiento de aguas residuales generadas fuera de la edificación” y “(8 vl.) Reducción de las descargas de agua (sistema de recirculamiento de agua)”. Por el contrario, en LEED, el crédito (WE) Medición de agua a nivel de edificio aborda exclusivamente este tema. Los medidores, según la opción 1: pueden ser instalados en dos o más subsistemas según aplique al proyecto. Estos incluyen los subsistemas de irrigación, accesorio o muebles sanitario en interiores (al menos 80%), agua caliente doméstica (al menos el 80% de la capacidad instalada), calderas, agua regenerada, agua de procesos o torres de enfriamiento. Asimismo, lo anterior puede complementarse con

la estrategia 2, la cual indica instalar un medidor de agua permanente para cada unidad de vivienda residencial para medir el uso total de agua potable de la unidad. Adicionalmente, LEED requiere compartir declaraciones de las mediciones de los edificios con el USGBC. Las especificaciones de los medidores tampoco se indican, pero estas mediciones pueden ser tomadas manualmente o conectadas a un sistema de información del edificio.

De modo que, para atender los requerimientos antes descritos, se propone una estrategia que incluye un cuadro de medidores en cada nivel del edificio que incluye un medidor de flujo para cada departamento para contabilizar el suministro de agua potable (proveniente del agua potable municipal o del agua de lluvia tratada) y agua regenerada (proveniente del tratamiento de aguas grises). Asimismo, se propone instalar un medidor de flujo en la salida del calentador de cada departamento. Otros sitios, incluyen el trasvase de agua de lluvia tratada a la cisterna de agua potable, el trasvase de aguas grises tratadas a la cisterna de agua tratada y en la salida del sistema de riego. Los detalles del diseño se presentan más adelante, en la **sección 5.6**.

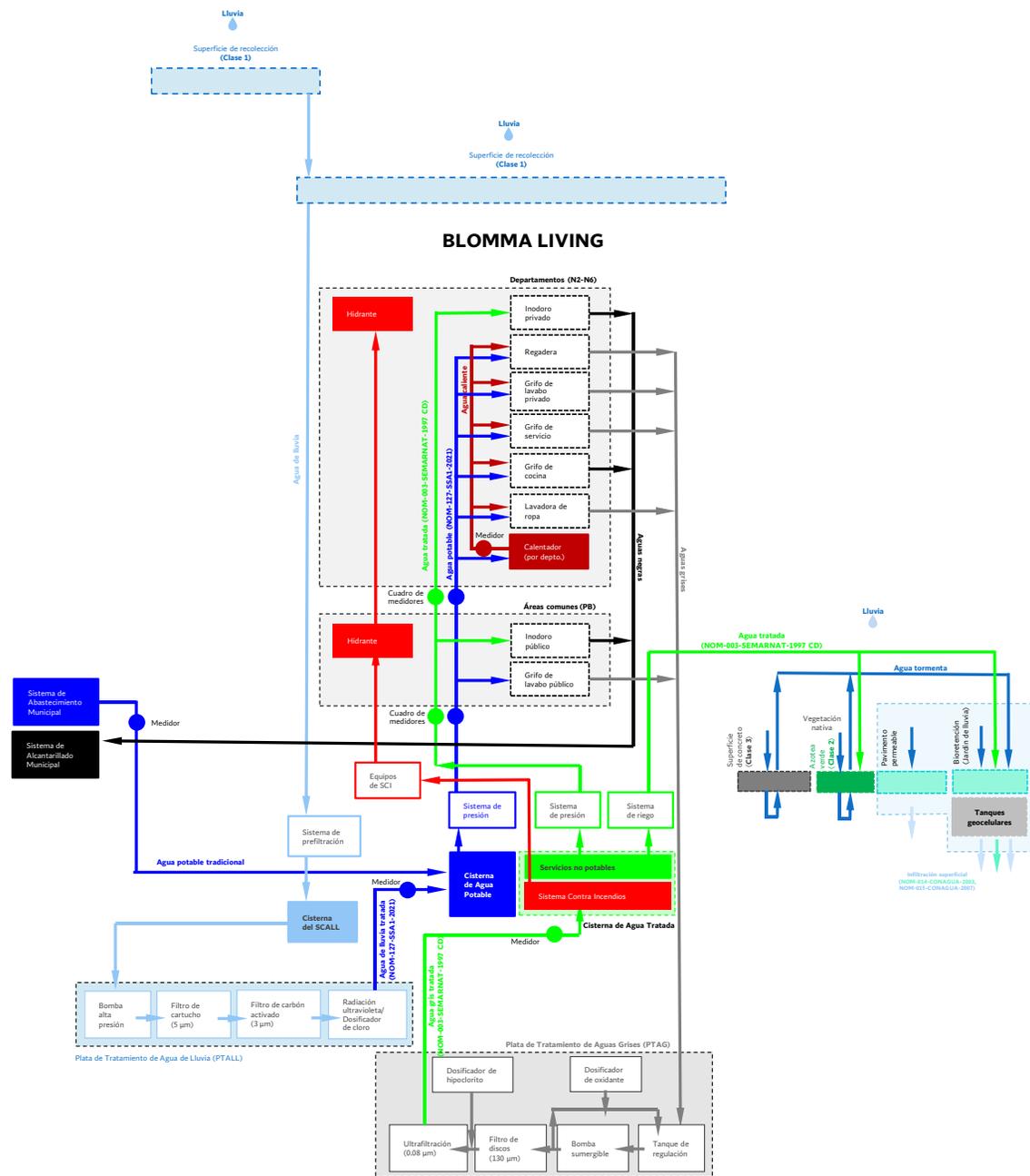


Figura 5.3-2. Diagrama de estrategias del edificio

5.4 Evaluación de estrategias

A continuación, se presenta una comparativa entre los criterios del PCES y créditos de LEED y su intersección con las estrategias propuestas para la conceptualización del proyecto:

5.4.1 Reducir la demanda

5.4.1.1 Reducción del uso de agua en interiores

Tabla 5.4-1. Reducir la demanda: interiores (evaluación)

PCES (11 ob.) Elementos ahorradores de agua (hidrosanitarios)	Proyecto
95% de equipos hidrosanitarios eficientes	100% de equipos hidrosanitarios eficientes (ver 5.3.1.1)

LEEDv4.1 BD+C WE: Reducción del uso del agua Opción 1 Reducción Total del Uso de Agua	Proyecto
Reducir el consumo total de agua en interiores y exteriores en al menos un 20% respecto a las prácticas estándar.	Reducir la demanda (ver 5.3.1): Equipos hidrosanitarios eficientes (-44.2%) Utilizar fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2), se detalla más adelante: Agua de lluvia (-5.2% de LB) Aguas grises (-18.2% de LB)
-20%	
-25%	
-30%	
-35%	
-40%	
-45%	-44.2%: Con 5.3.1
-50%	
-55%	-67.2%: Con 5.3.1 y 5.3.2.

LEEDv4.1 BD+C WE: Reducción del uso del agua Opción 2 Reducción del Uso de Agua en Espacios Exteriores e Interiores Alternativa 2 (Interiores)	Proyecto (ver 5.3.1.1)
Grifo de lavabo (5.6 lpm) WaterSense	Grifo baño privado (4.5 lpm) WaterSense Grifo baño público (1.9 lpm) Sello ecológico Grifo cocina privada (5.6 lpm)
Regadera (7.6 lpm o 6.6 lpm) WaterSense	Moen Zarinba 6345 (3.8 lpm) WaterSense

Inodoro (4.8 lpf o 4.1 lpf) WaterSense	Helvex Olimpia (3.8 lpf) Grado ecológico
Lavadora de ropa ENERGY STAR	Samsung WA21B3544GV/AX (IWF 0.58) Grado ecológico

5.4.1.2 Reducción del uso de agua en exteriores

Tabla 5.4-2. Reducir la demanda: exteriores (evaluación)

PCES (11 ob.) Elementos ahorradores de agua (hidrosanitarios)	Proyecto
Diseñar e instalar un sistema de riego eficiente	Se incluye un sistema de riego por microaspersión
LEEDv4.1 BD+C WE: Reducción del uso del agua Opción 2 Reducción del Uso de Agua en Espacios Exteriores e Interiores Alternativa 1 (Exteriores)	Proyecto
Paisaje con plantas nativas o adaptadas a la región	
>25%	
>50%	
>75%	La paleta vegetal se basa en especies nativas en todas las áreas del paisaje suave

5.4.2 Utilizar fuentes de agua alternativas

5.4.2.1 Agua de lluvia

Tabla 5.4-3. Utilizar fuentes de agua alternativas: agua de lluvia (evaluación)

PCES (10 ob.) Captación y uso de aguas pluviales	Proyecto
80% de cobertura de superficies con potencial de captación de agua pluvial.	100% de cobertura de superficies con potencial de captación de agua pluvial (ver 5.3.2.1)
LEEDv4.1 BD+C (SS) Gestión del agua de lluvia Opción 1 Percentil de Eventos de Precipitación	Proyecto
Retener (es decir, infiltrar, evapotranspirar o captar y reutilizar) en el lugar, la escorrentía desarrollada durante, como mínimo, el percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales,	Fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2.1): Sistema de captación y aprovechamiento pluvial Devolver el agua (ver 5.3.3.1), se detalla más adelante:

mediante prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID) / infraestructura verde (GI).	Sistema de retención e infiltración pluvial
Percentil 80	
Percentil 85	
Percentil 90	Todas las prácticas tienen la capacidad para gestionar una tormenta de 60 min y 10 años, equivale al percentil 99 de eventos de lluvia regionales o locales.

LEEDv4.1 BD+C (SS) Gestión del agua de lluvia Opción 2 Área de Terreno Permeable	Proyecto
Utilizar técnicas de desarrollo de bajo impacto (LID) para minimizar la cantidad de agua de lluvia que abandona el sitio. El cumplimiento en viviendas multifamiliares depende del porcentaje del área del lote que es permeable o puede dirigir el agua a una característica de captación o infiltración en el sitio. Manejar la escorrentía de una tormenta de 2 años, con una duración de 24 horas.	Fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2.1): Sistema de captación y aprovechamiento pluvial Devolver el agua (ver 5.3.3.1), se detalla más adelante: Sistema de retención e infiltración pluvial
50-64%	
65-79%	
≥ 80%	Todas las prácticas tienen la capacidad para gestionar una tormenta de 60 min y 10 años, lo cual produce una lámina de precipitación mayor a una tormenta de 2 años con duración de 24 horas.

LEEDv4.1 BD+C WE: Reducción del uso del agua Opción 1 Reducción Total del Uso de Agua	Proyecto
Reducir el consumo total de agua en interiores y exteriores en al menos un 20% respecto a las prácticas estándar.	Reducir la demanda (ver 5.3.1), se detalla más atrás: Equipos hidrosanitarios eficientes (-45.4% LB) Utilizar fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2): Agua de lluvia (-5.2% de LB) Aguas grises (-18.2% de LB)
-20%	
-25%	
-30%	
-35%	
-40%	
-45%	-45.4%: Con 5.3.1
-50%	
-55%	-68.7%: Con 5.3.1 y 5.3.2.

5.4.2.2 Aguas grises

Tabla 5.4-4. Utilizar fuentes de agua alternativas: aguas grises (evaluación)

PCES (13 ob.) Tratamiento de aguas residuales y reúso	Proyecto
Instalar un sistema de tratamiento de agua residual que permita reutilizar el agua en sanitarios, limpieza en general y lavado de autos.	Sistema de tratamiento de aguas grises (ver 5.3.2.2). *No se incluye un sistema de tratamiento de aguas negras (AN). El 30% de todas las aguas residuales generadas en el edificio son AN. Las AN se descargan al drenaje municipal.

LEEDv4.1 BD+C WE: Reducción del uso del agua Opción 1 Reducción Total del Uso de Agua	Proyecto
Reducir el consumo total de agua en interiores y exteriores en al menos un 20% respecto a las prácticas estándar.	Reducir la demanda (ver 5.3.1), se detalla más atrás: Equipos hidrosanitarios eficientes (-45.4% LB) Utilizar fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2): Agua de lluvia (-5.2% de LB) Aguas grises (-18.2% de LB)
-20%	
-25%	
-30%	
-35%	
-40%	
-45%	-45.4%: Con 5.3.1
-50%	
-55%	-68.7%: Con 5.3.1 y 5.3.2.

5.4.3 Devolver el agua

Tabla 5.4-5. Devolver el agua (evaluación)

PCES (10 vl.) Superficie permeable dentro de la edificación	Proyecto
Que el interesado o promovente respete el total del porcentaje de área libre establecido en los programas de desarrollo urbano.	Se respeta el total del porcentaje de área libre. De acuerdo con la zonificación corresponde a un 20%.

PCES (11 vl.) Superficie permeable en banquetas y vialidades	Proyecto
Que las banquetas que colindan con la edificación, así como las vialidades y banquetas interiores, sean de materiales permeables que permitan la infiltración del agua al subsuelo.	Las áreas de circulación dentro del proyecto corresponden a pavimentos permeables, zonas vegetadas o jardín de lluvia. En el caso de las áreas libres con pavimentos de concreto (por proyección de losa de sótano), el agua escurrida se dirige a los jardines de lluvia.

LEEDv4.1 BD+C (SS) Gestión del agua de lluvia Opción 1 Percentil de Eventos de Precipitación	Proyecto
Retener (es decir, infiltrar, evapotranspirar o captar y reutilizar) en el lugar, la escorrentía desarrollada durante, como mínimo, el percentil 80 de los eventos de lluvia regionales o locales, mediante prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID) / infraestructura verde (GI).	Fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2.1), se detalla más adelante: Sistema de captación y aprovechamiento pluvial Devolver el agua (ver 5.3.3): Sistema de retención e infiltración pluvial (jardín de lluvia, naturación de, pavimentos permeables, tanque de infiltración)
Percentil 80	
Percentil 85	
Percentil 90	Todas las prácticas tienen la capacidad para gestionar una tormenta de 60 min y 10 años, equivale al percentil 99 de eventos de lluvia regionales o locales.

LEEDv4.1 BD+C (SS) Gestión del agua de lluvia Opción 2 Área de Terreno Permeable	Proyecto
Utilizar técnicas de desarrollo de bajo impacto (LID) para minimizar la cantidad de agua de lluvia que abandona el sitio. El cumplimiento en viviendas multifamiliares depende del porcentaje del área del lote que es permeable o puede dirigir el agua a una característica de captación o infiltración en el sitio. Manejar la escorrentía de una tormenta de 2 años, con una duración de 24 horas.	Fuentes de agua alternativas (ver 5.3.2.1), se detalla más adelante: Sistema de captación y aprovechamiento pluvial Devolver el agua (ver 5.3.3): Sistema de retención e infiltración pluvial (jardín de lluvia, naturación de, pavimentos permeables, tanque de infiltración)
50-64%	
65-79%	
≥ 80%	Todas las prácticas tienen la capacidad para gestionar una tormenta de 60 min y 10 años, lo cual produce una lámina de precipitación mayor a una tormenta de 2 años con duración de 24 horas.

5.4.4 Medir el agua

Tabla 5.4-6. Medir el agua (evaluación)

PCES (10 ob.) Captación y uso de aguas pluviales	Proyecto
Evidencias: Ficha técnica del instrumento del medidor de flujo.	Medidores de flujo en trasvase de agua de lluvia tratada a cisterna de agua potable

Nota(s):

Otros criterios indican la instalación de un medidor de flujo, sin embargo, no aplican para el proyecto: "(12 ob.) Tratamiento de aguas residuales generadas fuera de la edificación" y "(8 vl.) Reducción de las descargas de agua (sistema de recirculamiento de agua)"

<p>LEEDv4.1 BD+C (WE) Medición de agua Opción 1 Medición de los Subsistemas de Agua</p>	<p>Proyecto</p>
<p>Instalar medidores de agua permanentes para dos o más de los siguientes subsistemas de agua: riego, 80% de accesorios y equipos de plomería en interiores (descritos en WE prerequisite: Reducción del uso del agua), agua caliente doméstica, calderas, agua regenerada, otra agua de proceso, torre de enfriamiento.</p>	<p>Cuadro de medidores de agua potable en cada nivel, cuadro de medidores de agua regenerada en cada nivel y medidores de flujo en: la salida del calentador de cada departamento, trasvase de agua de lluvia tratada a cisterna de agua potable, trasvase de aguas grises tratada a cisterna de agua tratada y salida de sistema de riego.</p>
<p>LEEDv4.1 BD+C (WE) Medición de agua Opción 2 Medición de Unidades de Vivienda</p>	<p>Proyecto</p>
<p>Instalar un medidor de agua permanente para cada unidad de vivienda residencial que mida el uso total de agua potable de la unidad.</p>	<p>Cuadro de medidores de agua potable en cada nivel</p>

5.5 Uso y balance de agua en el edificio

5.5.1 Agua reducida

5.5.1.1 Interiores

La estimación del volumen de agua demandado por la edificación en interiores se propone con base en el “Proceso de Evaluación Técnica de WaterSense para para la Aprobación de Métodos de Certificación de Viviendas” (EPA-WaterSense, WaterSense Technical Evaluation Process for Approving Home Certification Methods: Version 1.0, 2021). Esto permitirá estimar la distribución del agua en el edificio. Además, las suposiciones se fundamentan en el estudio de Usos Finales Residenciales del Agua (Versión 2) realizado por la Fundación de Investigación del Agua de Estados Unidos (DeOreo, et al., 2016). Con base en esto, la **Tabla 5.5-4** muestra la estimación del volumen de agua demandado por la edificación en interiores.

Tabla 5.5-1. Proceso de Evaluación Técnica WaterSense.

Descripción	Ecuación
<p>Agua anual usada</p> <p>= uso del inodoro + uso de la regadera – ahorros por válvulas TSVs + uso de grifo de lavabo + uso de grifo de cocina + uso lavadora de ropa + uso de lavadora de trastes + uso de bañera + pérdidas agua caliente – ahorro por recirculación de AC + fugas + otros</p>	<p>Ec. 5-1</p>
<p>uso del inodoro_{clb,cef}</p> <p>= ocupantes(per) × uso diario(f/per/día) × q(lpf)</p> <p>Suposiciones Generales: Uso diario = 5 f/per/día Línea Base: q = 6 lpf (Energy Policy Act of 1992, LEEDv4.1 op. 1) Configuración eficiente: q = 4.8 lpf (EPA-WaterSense)</p>	<p>Ec. 5-2</p>

<p>uso de la regadera$_{clb,cef}$</p> $= ocupantes(per) \times uso\ diario(ducha/per\ día) \times duración(min/ducha) \times q(lpm)$ <p>Suposiciones Generales: Uso diario = 0.69 duchas/per/día Duración = 7.8 min/ducha Línea Base: q = 9.5 lpm (Energy Policy Act of 1992, LEEDv4.1 op. 1) Configuración eficiente: q = 7.6 lpf (EPA-WaterSense)</p>	Ec. 5-3
<p>ahorros por válvulas TSVs$_{clb,cef}$</p> $= ocupantes(per) \times uso\ diario(ducha/per\ día) \times vol.\ ahorrado(l/ducha)$ <p>Suposiciones Línea Base: Se supone que no se incluyen Configuración eficiente: Uso diario = 0.69 duchas/per/día Volumen ahorrado = 4.3 l/ducha</p>	Ec. 5-4
<p>uso de grifo de lavabo$_{clb}$</p> $= ocupantes(per) \times uso\ diario(usos/per\ día) \times vol.\ por\ uso\ (l/uso)$ <p>uso de grifo de lavabo$_{cef}$</p> $= uso\ de\ grifo\ de\ lavabo_{clb} - \{ocupantes(per) \times [q_{estandar}(lpm) - q_{eficiente}(lpm)] \times k_1\}$ $k_1 = \left(\frac{vol.\ ahorro}{\Delta q_r} \right)$ <p>Suposiciones Línea Base: Uso diario = 5.7 usos/per/día Volumen por uso = 1.9 l/usos Configuración eficiente: q_{estandar} = 8.3 lpm (10 CFR Part 430.32, LEEDv4.1) q_{eficiente} = 5.7 lpm (EPA-WaterSense) k₁ (basado en un estudio sobre la renovación de aireadores en lavabos) k₁ = 2.27/2.65, según: Vol. ahorrado (después de la renovación) = 2.27 l/per/día Δq_r = 2.65 lpm (cambio de aireadores de 8.3 lpm a 5.7 lpm)</p>	Ec. 5-5

uso de grifo de cocina_{clb}

$$= ocupantes(per) \times uso\ diario(usos/per/día) \times vol.\ por\ uso\ (l/uso)$$

uso de grifo de cocina_{cef}

$$= uso\ de\ grifo\ de\ cocina_{clb} - \{ocupantes(per) \times [q_{estandar}(lpm) - q_{eficiente}(lpm)] \times k_1 \times k_2\}$$

$$k_1 = \left(\frac{vol.\ ahorro}{\Delta q_{reducido}} \right), k_2 = \left(\frac{uso\ cocina(usos/per/día)}{uso\ lavado(usos/per/día)} \right)$$

Ec. 5-6

Suposiciones

Línea Base:

Uso diario = 14.3 usos/per/día

Volumen por uso = 1.9 l/usos

Configuración eficiente:

q_{estándar} = 8.3 lpm (10 CFR Part 430.32, LEEDv4.1)q_{eficiente} = 8.3 lpm o menos (EPA-WaterSense)k₁ (basado en un estudio sobre la renovación de aireadores en lavabos)k₁ = 2.27/2.65, según:

Vol. ahorrado (después de la renovación) = 2.27 l/per/día

Δq_r = 2.65 lpm (cambio de aireadores de 8.3 lpm a 5.7 lpm)k₂ (relación entre el uso de grifos de cocina y grifos de lavabo) = 14.3/5.7, según:

Uso grifo lavabo = 5.7 usos/per/día

Uso grifo cocina = 14.3 usos/per/día

uso lavadora de ropa_{clb,cef}

$$= ocupantes(per) \times uso\ diario(cargas/per/día) \times capacidad(l) \times FCA(l/ciclo/l)$$

Suposiciones

Generales:

Uso diario = 0.3 cargas/per/día

Línea Base:

Capacidad = 109 l (≈19.5 kg)

FCA (IWF) = 0.87 lcl (EPA-ENERGY STAR), 1.27 lcl (LEEDv4.1)

Configuración eficiente:

Capacidad > 70 l (≈12.5 kg)

FCA (IWF) = 0.58 lcl (EPA-WaterSense)

*1 IWF (gal/ciclo/ft³) = 0.1337 FCA (litro/ciclo/litro)

Ec. 5-7

uso lavadora de trastes_{clb,cef}

$$= ocupantes(per) \times uso\ diario(cargas/per/día) \times q(l/ciclo)$$

Suposiciones

Generales:

Uso diario = 0.1 cargas/per/día

Línea Base:

q = 18.9 lpc (10 CFR Part 430.32), 24 lpc (LEEDv4.1)

Configuración eficiente:

q = 13.3 lpc (EPA- ENERGY STAR)

Ec. 5-8

<p>uso de bañera$_{clb,cef}$</p> $= ocupantes(per) \times uso\ diario(baños/per\ /día) \times vol.\ por\ baño\ (l/baño)$ <p>Suposiciones Para línea base y configuración eficiente Uso diario = 0.07 baños/per/día Volumen por baño = 76.5 l/baño</p>	Ec. 5-9
<p>pérdidas agua caliente$_{clb,cef}$</p> $= ocupantes(per) \times extracciones\ útiles\ de\ AC(extracciones\ /per/día) \times vol.\ desperdiciado(l\ /extraccion)$ <p>Suposiciones Generales: Uso diario = 0.3 cargas/per/día Línea Base: Volumen desperdiciado = 6.7 l/extracción Configuración eficiente: Volumen desperdiciado = 1.9 l/extracción</p>	Ec. 5-10
<p>ahorro por recirculación de AC$_{clb,cef}$</p> $= ocupantes(per) \times [ahorro\ atribuido\ a\ lavabos(l/per/día) + ahorro\ atribuido\ a\ regaderas(l/per/día)]$ <p>Suposiciones Línea Base: Se supone que no se incluyen Configuración eficiente: Volumen ahorrado por lavabos = 3.67 l/per/día Volumen ahorrado por regadera = 4.2 l/per/día</p>	Ec. 5-11
<p>fugas</p> <p>Suposiciones Línea Base: 8.2 litros/departamento (DeOreo, et al., 2016) Configuración eficiente: 16.3 litros/departamento (-50%)</p>	Ec. 5-12

Nota(s):

Se recomienda consultar todos los detalles en el documento original.

clb: configuración de línea base

cef: configuración eficiente

Fuente: (EPA-WaterSense, 2021)

5.5.1.2 Exteriores

La estimación del volumen de agua demandado por la edificación en exteriores se realiza utilizando la “Herramienta de Presupuesto de Agua WaterSense de la EPA” (EPA WaterSense Water Budget Approach Tool), la cual se resume en la **Tabla 5.5-2**. Este enfoque basado en un presupuesto de agua busca un diseño que se ajuste para cumplir con la cantidad permitida de agua que puede ser utilizada por el paisaje en la región. Algunas variables que intervienen son el tipo de planta, las necesidades de agua de las plantas, el diseño del sistema de riego y el agua aplicada que recibe el paisaje (riego o por precipitación). Con base en esto, la **Tabla 5.5-5** muestra la estimación del volumen de agua demandado por la edificación en exteriores.

Tabla 5.5-2. Herramienta de Presupuesto de Agua WaterSense de la EPA

Descripción	Ecuación
<p>La línea base es la cantidad de agua requerida por un sitio durante el mes pico de riego si este se regara al 100% de la evapotranspiración de referencia local (ET_o). La ET_o representa la cantidad de agua perdida de un extenso césped verde de altura promedio bien mantenido y el suelo circundante. Varía según la región, dependiendo de la cantidad de sol, viento, humedad y temperatura en un lugar.</p> <p>Línea base = $ET_o \times A \times C_u$</p> <p>Donde: ET_o: Evapotranspiración de referencia local (mm/mes) A: Área de paisaje (m²) C_u: Factor de conversión, 2.3594 (l/mes)</p>	<p>Ec. 5-13</p>
<p>La asignación de agua para el paisaje (LWA) es la cantidad de agua suplementada que es asignada para el paisaje diseñado. Para fines de esta especificación, la LWA equivale al 70 por ciento de la cantidad de agua base que sería necesaria si todo el paisaje estuviera cubierto por un extenso césped verde de altura promedio bien mantenido.</p> <p>LWA = $0.70 \times \text{Línea base}$</p> <p>Donde: LWA: Asignación de agua para el paisaje (l/mes)</p>	<p>Ec. 5-14</p>

El requisito de agua para el paisaje (LWR) es la cantidad de agua suplementada que es requerida por el diseño del paisaje establecido. El LWR se basa en ETo, el coeficiente del paisaje, el área de la hidrozona, la uniformidad de distribución del cuarto inferior (DULQ) del tipo de equipo de riego asociado y una parte de la precipitación local designada como precipitación permitida (Ra).

$$LWR_H = \frac{1}{DU_{LQ}} \times [(ET_o \times K_L) - R_a] \times A \times C_u$$

Donde:

LWR_H = Requisito de agua para el paisaje de la hidrozona (galones/mes)

DU_{LQ} = Uniformidad de distribución del cuarto inferior (adimensional)

Es la medida de la uniformidad del agua de riego aplicada sobre un área. DULQ es la relación entre el promedio de los valores más bajos del 25 por ciento de las mediciones con respecto al promedio general de las mediciones.

ET_o = Evapotranspiración de referencia local (pulgadas/mes)

K_L = Coeficiente del paisaje para la planta de mayor consumo de agua en esa hidrozona (adimensional).

Coeficiente utilizado para modificar la ET_o de referencia, que incluye un factor de especie (K_s), un factor de densidad (K_d) y un factor de microclima (K_{mc}). (K_L = K_s x K_d x K_{mc}). Tanto K_d como K_{mc} varían de 0.5 a 1.4, por lo tanto, para los fines de esta herramienta, WaterSense asume que K_d y K_{mc} son aproximadamente iguales a 1.0 (sus valores promedio) para reducir la complejidad de los cálculos y simplificar la ecuación a K_L = K_S.

R_a = Precipitación permitida, designada por WaterSense como el 25% de la precipitación máxima mensual en el sitio.

Es la cantidad de lluvia que WaterSense permite incorporar en el presupuesto de agua. Alguna parte de cada evento de lluvia no puede ser utilizada por las plantas, como la lluvia que cae en ráfagas cortas y extremas y se lava antes de infiltrarse en el suelo. Las estimaciones de la cantidad que es útil para las plantas, comúnmente denominada "lluvia efectiva", varían según varios factores, pero a menudo se considera que es aproximadamente el 50 por ciento. La asignación de precipitación en esta herramienta es una fracción de la lluvia efectiva y conduce a un diseño paisajístico más conservador.

A = Área de la hidrozona (m²).

C_u = Factor de conversión, 2.3594 (l/mes)

Ec. 5-15

Fuente: (EPA-WaterSense, 2014)

www.epa.gov/watersense/water-budget-tool.

Tabla 5.5-3. Mes pico de riego

Mes	Precipitación mensual (mm)	Evapotranspiración de referencia mensual, ETo (mm)	Demanda de agua (mm)
Enero	10.00	80.00	70
Febrero	5.00	92.00	87
Marzo	9.00	124.00	115
Abril	28.00	123.00	95
Mayo	66.00	126.00	60
Junio	139.00	109.00	-30
Julio	167.00	105.00	-62
Agosto	165.00	105.00	-60
Septiembre	146.00	91.00	-55
Octubre	58.00	93.00	35
Noviembre	18.00	81.00	63
Diciembre	6.00	74.00	68

Fuente: AQUASTAT Climate Information Tool de la FAO
<https://aquastat.fao.org/climate-information-tool/>

Tabla 5.5-4. Demanda de agua (interiores)

Config.	Inodoro (priv.) ¹	Inodoro (púb.) ²	Regadera ³	TSVs ⁴	Grifo lavabo (priv.) ⁵	Grifo lavabo (púb.) ⁶	Grifo servicio ⁷	Grifo de cocina ⁸	Lavadora ropa ⁹	Lavadora trastes ¹⁰	Bañera ¹¹	Pérdidas AC ¹²	AC recirculada ¹³	Fugas ¹⁴	Otros ¹⁴	Agua anual usada al interior
	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año	l/año
LB	1,923,292	384,658	3,234,737	-	685,173	120,206	150,257	1,718,942	2,672,174	-	-	519,145	-	172,295	614,091	12,194,969
Proyecto	1,202,058	240,412	1,293,895	-	477,045	120,206	119,076	1,362,229	1,314,666	-	-	146,651	-	86,147	614,091	6,976,475
Ahorro	37.5%	37.5%	60.0%	-	30.4%	0.0%	20.8%	20.8%	50.8%	-	-	71.8%	-	50.0%	0.0%	43.1%

Nota(s):

Ocupantes totales = 174 personas
1 a 14 "Proceso de Evaluación Técnica WaterSense"

1,2 Inodoros

Uso diario = 5 f/per/día
q = 6 lpf - Línea Base (LEEDv4.1)
q = 3.8 lpf - Configuración eficiente (Helvex Olimpia)

3 Regadera

Uso diario = 0.69 duchas/per/día
Duración = 7.8 min/ducha
Línea Base:
q = 9.5 lpm (LEEDv4.1)
Configuración eficiente:
q = 3.8 lpm (Moen Zarinba 6345)

4 TSVs (Thermostatic shutoff valves)

No se proponen en el proyecto
No se incluyen en configuración de línea base
Recomendaciones para configuración eficiente
Uso diario = 0.69 duchas/per/día
Volumen ahorrado = 4.3 l/ducha

5 Grifo de lavabo (privado)

Línea Base:
Uso diario = 5.7 usos/per/día
Volumen por uso = 1.9 l/usos
Configuración eficiente:
q_{estándar} = 8.3 lpm - (LEEDv4.1)
q_{eficiente} = 4.5 lpm - (Moen Siena LAT15122)
k₁ (basado en un estudio sobre la renovación de aireadores en lavabos) = 2.27/2.65, según:
Vol. ahorrado después de la renovación = 2.27 l/per/día
Δq = 2.65 lpm (cambio de aireadores de 8.3lpm a 5.7 lpm)

6 Grifo de lavabo (público)

Similar a grifo de cocina
Uso diario = 1 usos/per/día

Ocupan tes = 50% ocupación total
q_{estándar} = 1.9 lpm (MMX-C-415-ONNCCCE-2015 Sec. 5.7)
q_{eficiente} = 1.9 lpm - (Helvex TV122-1.9)

7 Grifo de servicio

Similar a grifo de cocina
Uso diario = 1.25 usos/per/día

8 Grifo de cocina

Línea Base:
Uso diario = 14.3 usos/per/día
Volumen por uso = 1.9 l/usos
Configuración eficiente:
q_{estándar} = 8.3 lpm - (LEEDv4.1)
q_{eficiente} = 5.6 lpm - (Moen Sinema 7235)
k₁ (basado en un estudio sobre la renovación de aireadores en lavabos) = 2.27/2.65, según:
Vol. ahorrado después de la renovación = 2.27 l/per/día
Δq = 2.65 lpm (cambio de aireadores de 8.3lpm a 5.7 lpm)
k₂ (relación entre el uso de grifos de cocina y grifos de lavabo) = 14.3/5.7, según:
Uso grifo lavabo = 5.7 usos/per/día
Uso grifo cocina = 14.3 usos/per/día

9 Lavadora de ropa

Uso diario = 0.3 cargas/per/día
Línea Base:
Capacidad = 109 l (≈19.5 kg)
FCA (IWF) = 1.27 lcl (LEEDv4.1)
Configuración eficiente:
Capacidad = 112 l (≈20 kg)
FCA (IWF) = 0.58 lcl (Samsung A21B3544GV/AX)
*1 IWF (gal/ciclo/ft³) = 0.1337 FCA (litro/ciclo/litro)

10 Lavadora de trastes (No se incluyen el proyecto)

Uso diario = 0.1 cargas/per/día
Línea Base:

q = 24 lpc (LEEDv4.1)
Configuración eficiente:
q = 13.3 lpc (EPA, ENERGY STAR) *Recomendado

11 Bañera (No se incluyen el proyecto)

Para línea base y configuración eficiente
Uso diario = 0.07 balos/per/día
Volumen por baño = 76.5 l/baño

12 Pérdidas de agua caliente

Extracciones útiles de AC = 1.22 extracciones/per/día
Línea Base:
Volumen desperdiciado = 6.7 l/extracción
Configuración eficiente:
Volumen desperdiciado = 1.9 l/extracción

13 Agua caliente recirculada (No se incluye en el proyecto)

Recomendaciones para configuración eficiente
Volumen ahorrado por lavabos = 3.67 l/per/día
Volumen ahorrado por regadera = 4.2 l/per/día

14 Fugas

16.3 litros/departamento - Línea Base (WFR, 2016)
8.2 litros/departamento - Configuración eficiente (EPA)

15 Otros

NTC-DEOIH: Secc. 2.6.2-Tabla 2.13
Estacionamientos = 8 l/cajón/día
Cajones = 61
Limpieza pasillo y áreas comunes = 2 l/m²/día
Área de limpieza = 597.2 m²

Tabla 5.5-5. Demanda de agua (exteriores)

Zona ID	Hidrozona o Área de Característica del Paisaje (metros cuadrados)	Tipo de Planta o Característica del Paisaje	Requerimiento de Agua	Coficiente del Paisaje (K_L) ^a	Tipo de Riego ^b	Uniformidad de Distribución (DU_{LQ}) ^c	LWR _H (l/mes)
JLL1-A	86	Arbustos	Medio	0.5	Microaspersión	70%	7,330
JLL1-B	52	Arbustos	Bajo	0.2	Microaspersión	70%	1,660
JLL1-C	34	Cubresuelos	Bajo	0.2	Microaspersión	70%	1,106
JLL2-A	38	Arbustos	Medio	0.5	Microaspersión	70%	3,226
JLL2-B	23	Arbustos	Bajo	0.2	Microaspersión	70%	731
JLL2-C	15	Arbustos	Bajo	0.2	Microaspersión	70%	487
ZN	331	Cubresuelos	Bajo	0.2	Microaspersión	70%	10,670
Área total de la hidrozona o característica del paisaje (metros cuadrados)							579
Requerimiento de agua del paisaje basado en el mes pico de riego del sitio (litros por mes)							25,209

Resumen:

Consumo de agua de paisaje base (l/mes): **71,740 litros por mes.**
 Requisito de agua de paisaje (LWR) (l/mes): **25,209 litros por mes.**
 Reducción porcentual respecto al consumo de agua base (%): **65%.**

Nota(s):

Promedio de lluvia mensual para el mes pico de riego del sitio: 9 mm/mes.
 Mes pico de riego: Marzo
 Demanda máxima de riego: 115 mm
 Evapotranspiración de referencia (ET_o) para el mes pico de riego: 124 mm
 Asignación de agua para el paisaje: 50,218 l/mes
 Consumo de agua de paisaje base: 71,740 l/mes

a**Tipo de Planta o Característica del Paisaje y Coeficiente del Paisaje Asociado.**

Fuente: Sistema de Calificación LEED para Hogares 2008

Tipo de Planta o Característica del Paisaje	K_L		
	Bajo	Medio	Alto
Árboles	0.2	0.5	0.9
Arbustos	0.2	0.5	0.7
Cubresuelos	0.2	0.5	0.7
Césped	0.6	0.7	0.8

c**Uniformidad de Distribución**

Fuente: (The Irrigation Association, octubre de 2001) Programación de Riego de Paisajes y Gestión del Agua, **IA 2005**

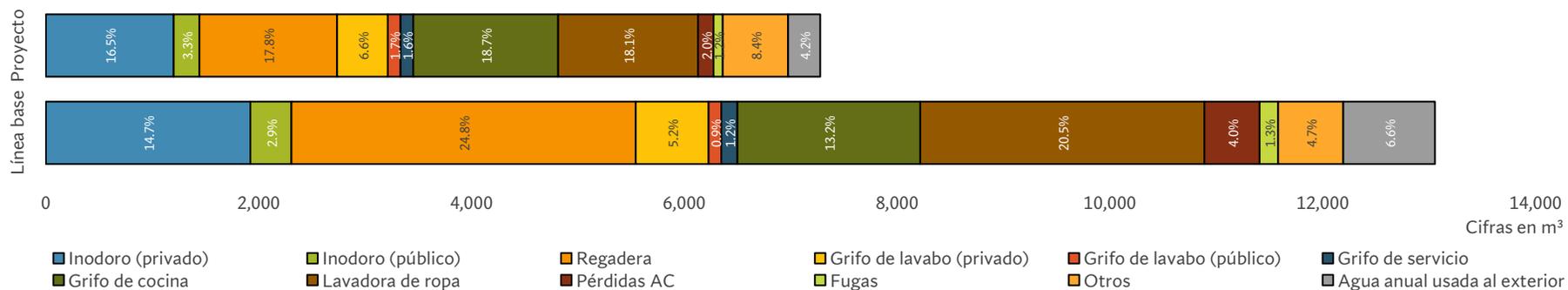
Tipo de irrigación	DU_{LQ} or EU*
Goteo (estándar)	70%
Goteo (presión compensada)	90%
Aspersión fija	65%
Microaspersión	70%
Rotor	70%
Sin riego	N/A

b.1**Tipos de Riego Apropriados - Áreas Paisajísticas con Sistemas de Riego**

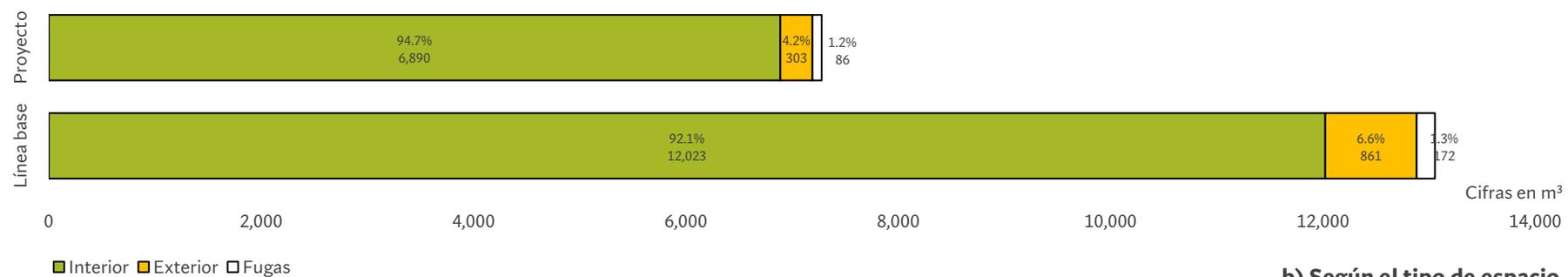
Tipo de Planta	Tipo de irrigación			
	Goteo (estándar)	Goteo (presión compensada)	Aspersión fija	Microaspersión
Árboles	x	x		x*
Arbustos	x	x		x*
Cubresuelos	x	x		x*
Césped	x	x	x	x

b.2**Tipos de Riego Apropriados - Áreas Paisajísticas sin Sistemas de Riego**

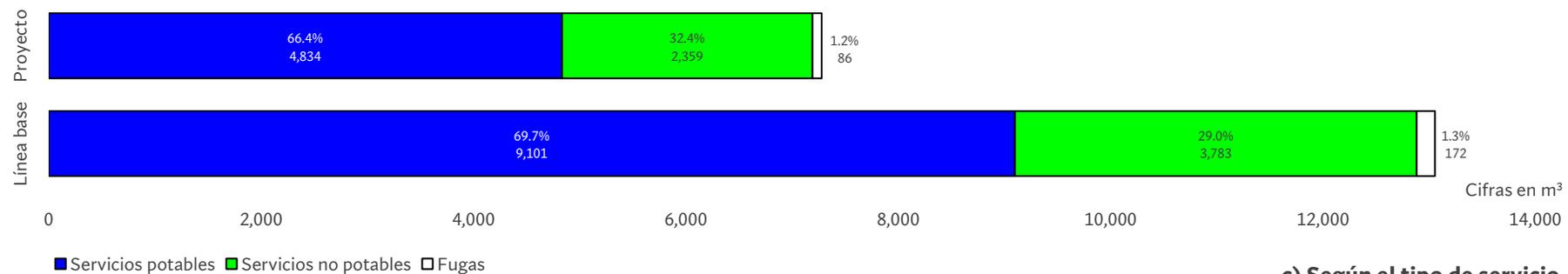
Tipo de Planta o Característica del Paisaje	Tipo de irrigación	
	Goteo (estándar)	Aspersión fija
Árboles, arbustos o cobertura de suelo con requisitos bajos de agua ($K_L = 0.2$)	x	
Árboles, arbustos o cobertura de suelo con requisitos medios o altos de agua ($K_L > 0.2$)		x
Césped con requisitos bajos, medios o altos de agua ($K_L > 0.2$)		x



a) Según el tipo de demanda



b) Según el tipo de espacio



c) Según el tipo de servicio

Figura 5.5-1. Uso del agua en el edificio

De acuerdo con la **Tabla 5.5-4** y **Tabla 5.5-5**, se estima que el agua anual requerida por el edificio asciende a 7,279 m³ para la configuración del proyecto y a 13,056 m³ para la línea base. Esto significa que el agua reducida es de 5,779 m³ y el ahorro anual de agua requerida del proyecto es del 44.2% en comparación con el edificio de referencia. En la línea base, se supone que el suministro de los requerimientos de agua se realiza a través de fuentes de agua potable tradicionales. Por otro lado, en la configuración del proyecto, se supone que el suministro de los requerimientos se realiza mediante fuentes de agua tradicionales y fuentes de agua alternativas. Si consideramos el agua potable tradicional como el sujeto de estudio, el ahorro en el agua requerida por el edificio equivale al ahorro de agua potable tradicional (Ver **Figura 5.5-5 a**).

La **Figura 2.1-1** muestra la distribución del uso del agua en el edificio desde diferentes perspectivas. Según el tipo de demandas, en la línea base, los muebles sanitarios con el mayor volumen de agua anual demandado son la regadera, la lavadora y el inodoro seguidos del grifo de cocina, grifo de lavabo, otros, pérdidas de AC y fugas, en ese orden. Para el caso de la configuración del proyecto, los muebles sanitarios con mayor volumen de agua demandado son el inodoro, el grifo de cocina y la lavadora, seguidos de la regadera, del grifo de lavabo, otros, pérdidas y fugas.

Según el tipo de espacio, en ambos escenarios el mayor uso del agua es en interiores con un valor mayor al 90%. Específicamente, en la línea base el 92.1% y 6.6% se utiliza en interiores y exteriores, respectivamente, mientras que el resto corresponde a las fugas. En la configuración del proyecto el 94.7% se utiliza en interiores y 4.2% en exteriores.

Por otro lado, según el tipo de servicio, en ambos casos, casi dos terceras partes se destinan para satisfacer demandas que requieren agua potable, y aproximadamente una tercera parte tiene el potencial para satisfacer demandas que requieren agua tratada. En concreto, el uso del agua en servicios potables es del 66.4% y 69.7%, mientras que en servicios no potables es del 32.4% y 29% para el proyecto y la línea base, respectivamente.

5.5.2 Agua compensada

5.5.2.1 Agua de lluvia

El volumen de agua de lluvia escurrido depende de la precipitación del sitio y la extensión de las superficies de captación. Sin embargo, el volumen de agua de lluvia aprovechado, además de estas variables, depende de la capacidad de almacenamiento y la demanda del edificio. La relación entre estas variables se establece en el método YAS (aprovechamiento después de derrame, por sus siglas en inglés) o el método YBS (aprovechamiento antes de derrame, por sus siglas en inglés) (Jenkins, Pearson,

Moore, Kim, y Valentine, 1978). Las ecuaciones que definen los métodos YAS y YBS son:

Método YAS (Yield After Spillage)

$$S_i = \min(S_{i-1} + R_i, S) - Y_i$$

$$Y_i = \min(D_i, S_{i-1})$$

Método YBS (Yield Before Spillage)

$$S_i = \min(S_{i-1} + R_i - Y_i, S)$$

$$Y_i = \min(D_i, S_{i-1} + R_i)$$

$$R_i = \frac{C \times P_{md} \times A}{1000}$$

Ec. 5-16

Donde:

S_i : Volumen almacenado al final del i-ésimo periodo, en m³.

R_i : Volumen de lluvia escurrido durante el i-ésimo periodo, en m³

Y_i : Volumen aprovechado durante el i-ésimo periodo, en m³

D_i : Demanda del sistema en el i-ésimo periodo, en m³

S = Volumen de la cisterna pluvial, en m³

C : Coeficiente de escurrimiento, adimensional

P_{md} : Precipitación media diaria, en mm

A : Área de captación, en m²

Sámano (2017) presenta un caso de aplicación detallado utilizando estos métodos para evaluar un SCALL. Del mismo modo, se propone emplear este procedimiento para estimar el volumen de agua de lluvia aprovechado, y por lo tanto el volumen de agua de potable municipal compensado.

La precipitación media mensual se estima a partir de los registros históricos de la estación de apoyo, la 9070 (ver **sección 5.1.6**). Sin embargo, en conformidad con la Guía Técnica sobre la Implementación de los Requisitos de Escorrentía de Aguas Pluviales para Proyectos Federales según la Sección 438 de la Ley de Independencia y Seguridad Energética de la EPA, sólo los eventos mayores a 2.54 mm (0.1 in) se consideraron como los potenciales eventos que producen escurrimiento. Por otro lado, la demanda de agua del edificio se estimó en la sección anterior. El diseño de la cisterna del SCALL corresponde a una tormenta de intensidad de 47.3 mm/h (60 minutos de duración y 10 años de periodo de retorno), resultando en un volumen de

almacenamiento de 42.20 m³ (ver **sección 5.6.3.1**). El área total de captación corresponde a 939 m² de superficies de azotea (clase 1). Asimismo, se supone que el agua de lluvia será tratada y aprovechada una vez terminado el evento de lluvia, por lo que el método que mejor representa dicha situación es el método YAS.

Aplicando el método bajo las consideraciones anteriores, se determinó que la demanda de servicios potables del edificio (que es la que abastece el agua de lluvia como fuente alternativa) de 13,479 l/día en la configuración eficiente, no puede ser satisfecha totalmente empleando solamente agua de lluvia en ningún día (ver **Figura 5.5-2**). El mayor volumen de agua de lluvia ofertado corresponde a 11,259 l/día. Esto significa que la cisterna pluvial no se derrama y que todo el volumen de agua llovido es aprovechado (ver **Figura 5.5-3**). Desde una perspectiva general, el SCALL aprovecha 642 m³ de agua de lluvia al año distribuido en 138 días desde la mitad de mayo hasta la mitad de octubre. Este volumen representa el 13.05% de la demanda anual de agua los servicios potables (4,920 m³) o el 8.82% de la demanda total de agua en el edificio, considerando tanto servicios potables como no potables). Este porcentaje también representa la cantidad de agua potable municipal que es compensada por el uso de agua de lluvia. En comparativa, si se supone que en la configuración de línea base no se aprovecha el agua de lluvia, el ahorro de agua potable tradicional es del 4.9% (Ver **Figura 5.5-5 b**).

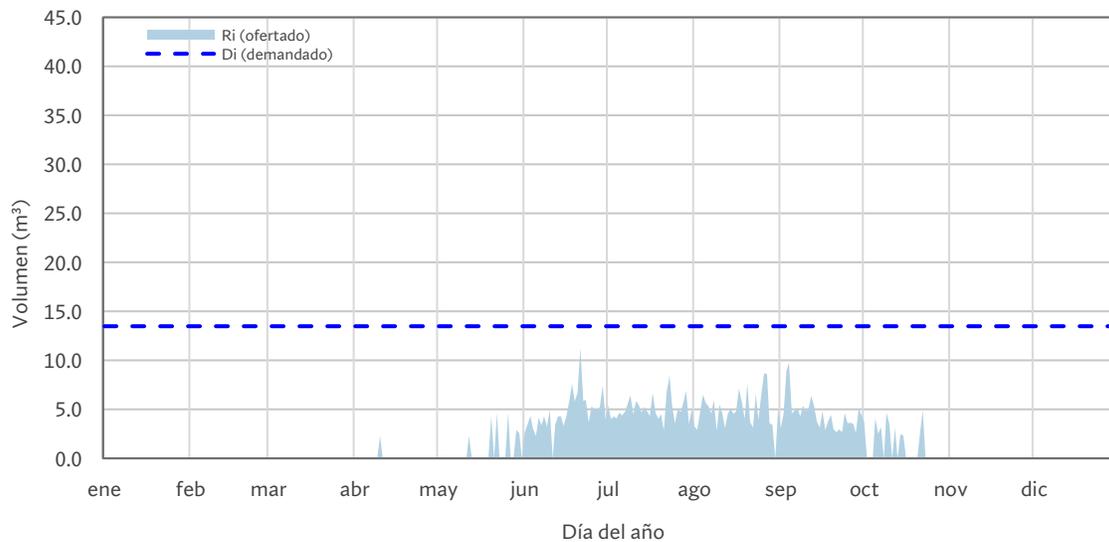


Figura 5.5-2. Evaluación del SCALL.

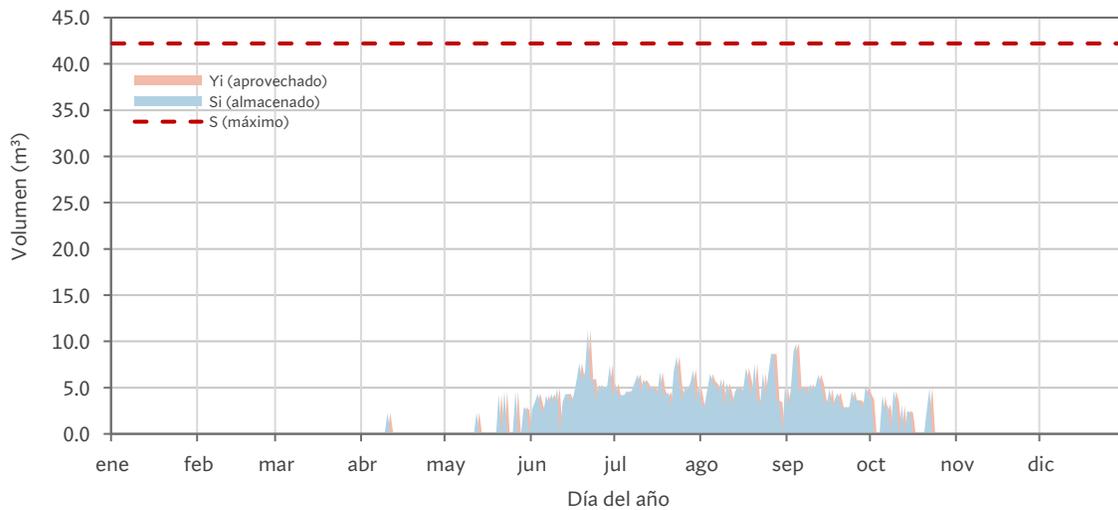


Figura 5.5-3. Comportamiento de la cisterna del SCALL.

5.5.2.2 Agua tratada

El volumen de agua tratada como fuente alternativa puede ser inferido a través de la distribución del uso del agua en el edificio según el tipo de mueble sanitario y el tipo de agua residual que genera. De modo que la **Figura 5.5-4** muestra cómo se distribuyen las aguas grises y aguas negras en el edificio. En la línea base, la generación de aguas grises asciende a 74.6% (los muebles que mayor agua generan son la regadera y la lavadora), mientras que el 24% corresponde a las aguas negras. En la configuración del proyecto, las aguas grises representan el 69.3%, mientras que las aguas negras el 29.5%.

En la configuración del proyecto, asumiendo que la eficiencia del tratamiento de las aguas grises es del 95%, el volumen potencial que puede ser aprovechado es de 4,592 m³, lo que equivale al 63.1% del agua total requerida por el edificio. Sin embargo, el volumen requerido en servicios no potables (considerando interiores y exteriores), es de 2,359 m³, es decir, el 32.4% del agua total requerida por el edificio. Esto implica que sólo el 48.8% de las aguas grises generadas puedan ser utilizadas para compensar las fuentes de agua potable tradicionales y el resto puede ser infiltrado. En el edificio de referencia, no se considera el tratamiento y reutilización de las aguas residuales. Por tanto, el agua potable tradicional compensada con aguas grises representa un 18.1% con relación a la línea base (Ver **Figura 5.5-5 c**).

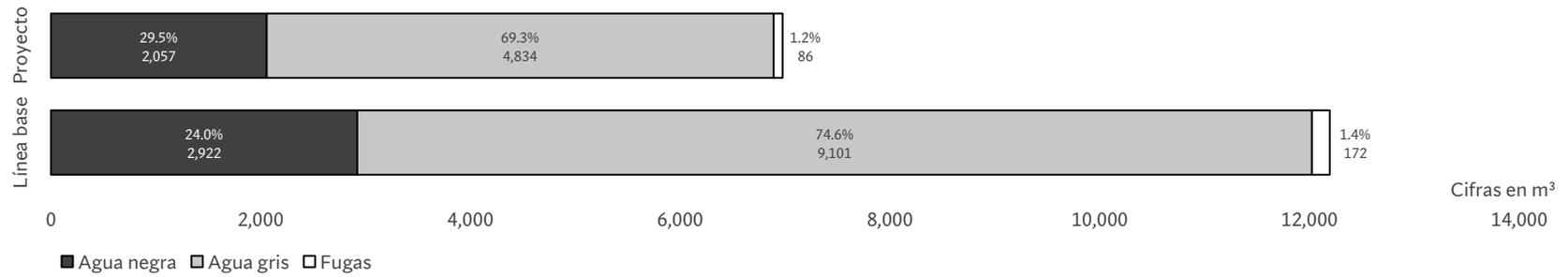


Figura 5.5-4. Generación de agua residual en el edificio

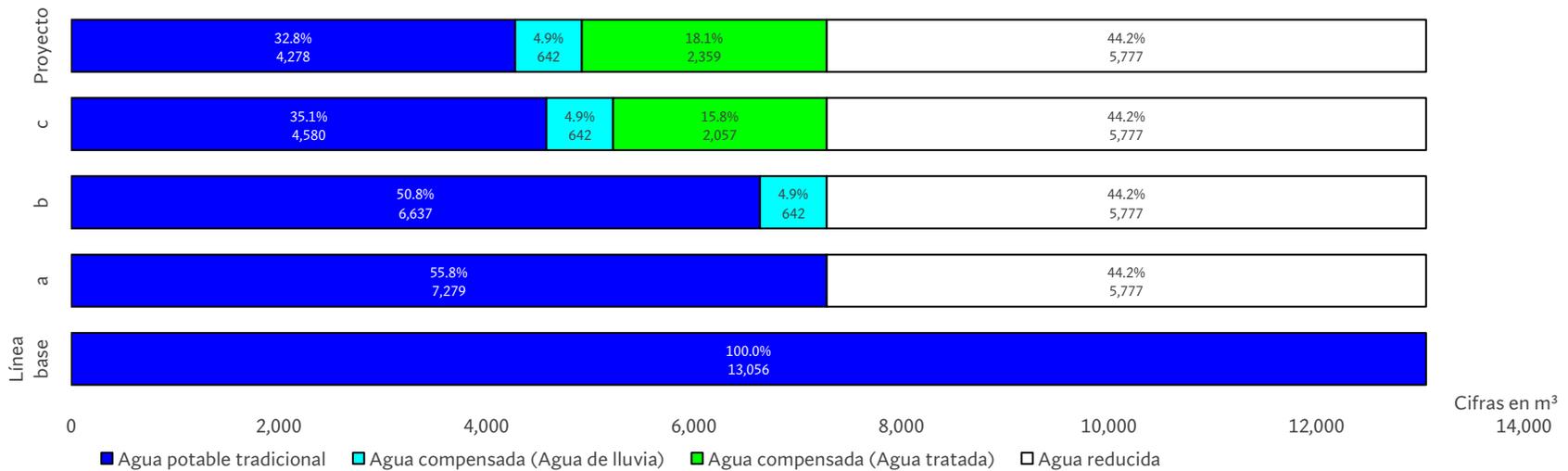


Figura 5.5-5. Reducción del uso del agua tradicional en el edificio

Nota(s):

a: Al incorporar muebles sanitarios eficientes y un diseño adecuado del paisaje.

b: Si además se incorpora el SCALL.

c: Si además se incorpora el tratamiento y reúso de AG en interiores.

Proyecto: Si además se incorpora el tratamiento y reúso de AG en exteriores.

5.5.3 Agua devuelta

5.5.3.1 Agua de lluvia

De manera similar a la **sección 5.5.2.1**, se pudo determinar el volumen de lluvia escurrido distribuido diariamente y por tipo de superficie como se muestra en la **Figura 5.5-6**. En términos prácticos, se supone que todo el volumen escurrido es infiltrado. El volumen de escorrentía generado en el predio asciende a 342 m³ al año. Esto representa el 4.71% del agua requerida por el edificio bajo la configuración del proyecto (ver **Figura 2.1-1**).

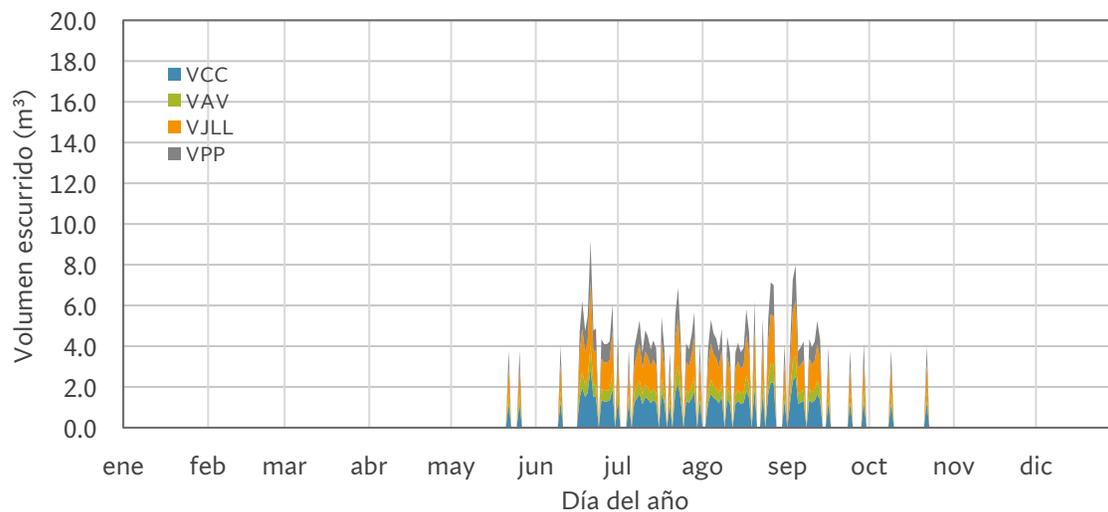


Figura 5.5-6. Volumen de lluvia escurrido

5.5.3.2 Agua tratada

El volumen de agua tratada se estimó en la **sección 5.5.2.2**. El volumen potencial que puede ser aprovechado es de 4,592 m³, pero sólo el 48.8% de las aguas grises generadas puedan ser utilizadas para compensar las fuentes de agua potable tradicionales. El otro 46.2% se infiltra a través de los sistemas de biorretención del edificio, es decir, 2,333 m³. Este volumen representa un 30.7% del agua requerida bajo la configuración del proyecto.

En términos del balance de agua potable tradicional, la configuración del proyecto compensa con fuentes de agua alternativas el 41.2% del agua requerida por el edificio, asimismo, el proyecto devuelve el 35.4% del agua que requiere. Por lo que en realidad el edificio consume un 23.4% del agua total que requiere (ver **Figura 2.1-1**).

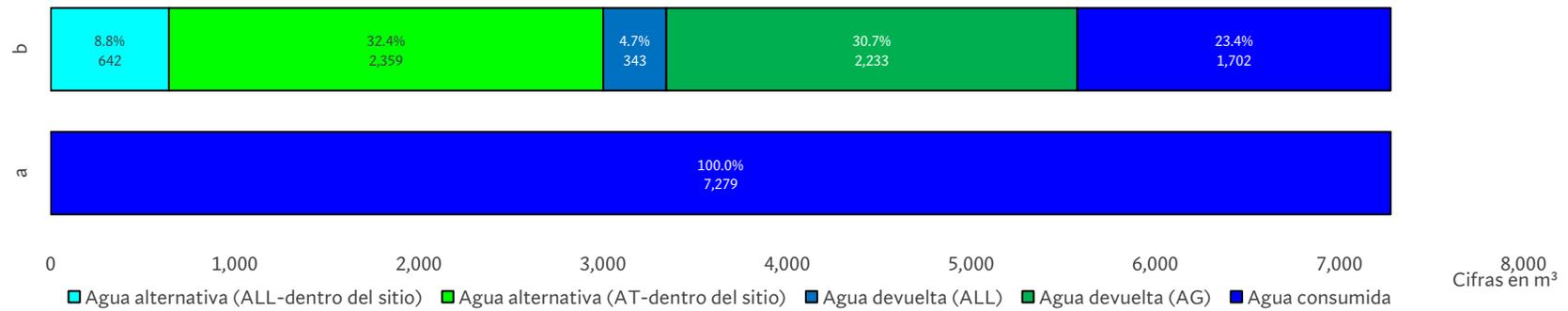


Figura 5.5-7. Balance hídrico del edificio (configuración eficiente)

5.6 Diseño de las instalaciones

Disminuir la demanda de agua a través de un diseño eficiente implica reducir el tamaño de algunos de los componentes de la edificación. Aun así, el diseño debe seguir un diseño basado en las metodologías propuestas por la normativa. En este sentido, el diseño de las instalaciones podría estar sobredimensionado, lo que podría resultar en costos innecesarios. Sin embargo, no todo tiene una connotación negativa. Esto podría dotar de mayor capacidad y volver todavía más resiliente a la edificación. Tomando esto en consideración, a continuación, se presenta el diseño de las instalaciones de suministro y evacuación de agua.

5.6.1 Instalación hidráulica (IH)

5.6.1.1 Consumo probable de agua

El volumen de agua demandado por la edificación puede ser calculado como en la **sección 5.5**. Sin embargo, se utiliza la metodología de las NTC para estimar esta variable y el dimensionamiento de algunos de los componentes que de ahí se desprenden. La dotación mínima de agua, en la Ciudad de México, se determina con base en las NTC. Son aplicables la Tabla 3.1 (Sección 3.1) de las NTC-PA o la Tabla 2.13 (Sección 2.6.2) de las NTC-DEOIH. El RCDF supone las siguientes tipologías: habitacional, comercial, servicios, industria, infraestructura, espacios abiertos. En el caso de edificios habitacionales, la población se estima considerando dos ocupantes por cada recámara como lo indica la misma sección de las NTC-DEOIH. En edificios mixtos con zonas comerciales y/o de amenidades habrá que estimar las unidades según el tipo de espacio. Asimismo, de acuerdo con el tipo de servicio se suministran dos tipos de aguas: agua potable, que deberá cumplir con la NOM-127-SSA1-2021; y agua tratada, que deberá cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997 para CD. De esta forma, la dotación mínima de agua para el proyecto se presenta a continuación.

Tabla 5.6-1. Dotación mínima de agua potable según la NTC.

Concepto	Dotación mínima ¹		Área m ²	Total unidades	Dotación diaria l/día
	Cantidad	Unidad ¹			
Departamentos Tipo A1 ²	200	L/hab/día	119.13	72	14,400
Departamentos Tipo B1 ²	200	L/hab/día	131.42	72	14,400
Departamentos Tipo C1 ²	200	L/hab/día	140.36	30	6,000
Gimnasio ³	25	L/asistente/día	47.20	87	2,175
Coworking ⁴	50	L/persona/día	13.32	87	2,175
Administración	50	L/persona/día	5.22	5	250
				Total:	39,400

Tabla 5.6-2. Dotación mínima de agua tratada según la NTC.

Concepto	Dotación mínima ¹		Área	Total unidades	Dotación diaria
	Cantidad	Unidad ¹	m ²	-	l/día
Estacionamiento - Sótano 1	8	L/cajón/día	710.04	61	488
Jardines de lluvia	5	L/m ² /día	304.76	-	1,524
Áreas naturadas	5	L/m ² /día	347.31	-	1,737
Limpieza pasillos y áreas comunes	2	L/m ² /día	597.22	-	1,194
				Total:	4,943

Nota(s):

1 Según las NTC-DEOIH: Secc. 2.6.2-Tabla 2.13 o las NTC-PA: Secc 3.1-Tabla 3.1

2 Se consideran 2 personas por recámara (Secc. 2.6.2 de las NTC-DEOIH).

3 Se considera 100% de los habitantes como asistentes.

4 Se considera 50% de los habitantes como asistentes.

El volumen de agua demandado por la edificación es de 44,343 l/día según las NTC y de 36,069 l/día para la línea base según la **sección 5.5**. En término de dotación, esto corresponden a 255 l/hab/día y 207 l/hab/día, respectivamente. No obstante, aunque en el primer caso, se divide entre agua potable y tratada, esta estimación no es lo suficientemente detallada como para distinguir los muebles que requieren agua potable o no potable.

5.6.1.2 Cisternas de agua potable y agua tratada

Tomando como base el volumen de agua demandado por la edificación según las NTC y la **sección 5.5**, el dimensionamiento de las cisternas de agua potable y tratada se presentan en la **Tabla 5.6-3**. De acuerdo con el Artículo 124 del RCDF, el volumen de reserva corresponderá a 2 días la demanda diaria. En realidad, el volumen total de diseño para la cisterna de agua potable corresponde a una capacidad de almacenamiento de alrededor de 1 semana para el proyecto (configuración eficiente).

Tabla 5.6-3. Cisternas de agua potable y tratada.

Tipo	Vol. NTC	Vol. Secc. 5.5 (Config. eficiente)	Vol. de diseño ¹	Vol. reserva ²	Vol. total de diseño	Celdas	Largo	Ancho	Tirante útil	Alto ³
	l/día	l/día	l/día	l/día	l/día	-	m	m	m	m
Agua potable	39,400	13,479	39,400	78,800	118,200	4	4.30	3.60	2.74	3.00
Agua tratada	4,943	6,463	6,463	12,926	19,390	2	4.30	3.50	0.81	2.20*

Nota(s):

1 Máximo entre las NTC y Secc. 5.5.

2 Según RCDF Art. 124: 2 días.

3 Se considera un colchón de 20 cm.

* El volumen de agua se comparte con los sistemas de PCI. El volumen de AT + PCI es de 60,382 l.

5.6.1.3 Toma domiciliaria de agua potable municipal

El gasto de diseño de la toma domiciliaria, para su conexión a la red de suministro agua potable municipal, será el gasto máximo horario (Q_{MH}). Para lo cual, se deberán determinar el gasto medio diario (Q_m) y el gasto máximo diario (Q_{MD}). Los valores para los coeficientes de variación diaria (CVD) y horaria (CVH) corresponden a 1.2 y 1.5, respectivamente, de acuerdo con la sección 1.2.1 de las NTC-DEOIH. El gasto medio corresponde al volumen diario de agua demandado por la edificación.

Tabla 5.6-4. Acometida agua potable municipal

Tipo	Demanda	Q_m	Q_{MD}^1	Q_{MH}^2	D_t^a	D_c^3
	l/día	l/s	l/s	l/s	mm	mm
Acometida agua potable municipal	39,400	0.46	0.55	0.82	21.61	25 (1 in)

Nota(s):

1 CVD = 1.20, 1.2.1 de las NTC-DEOIH

2 CVH = 1.50, 1.2.1 de las NTC-DEOIH

$$a \ v = 1.5 \text{ m/s (propuesta), } D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MD}}{v \times \pi}}$$

3 Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

5.6.1.4 Unidades Mueble (UM)

El cálculo de los diámetros de tubería se basa en el método probabilístico de Hunter, Este método asigna unidades muebles (UM) a cada aparato sanitario y luego las transforma en gastos. De acuerdo con la Tabla 2-14 de las NTC-DEOIH, las UM de agua fría (UMAF), las UM de agua caliente (UMAC) y las UM totales (UMTO) para los muebles del proyecto se presentan en la siguiente **Tabla 5.6-5**. El material de la tubería es polipropileno (PPR). Asimismo, con base a la Tabla 2-3 de las NTC-DEOIH se procura que la velocidad del flujo se encuentre entre 0.5 m/s y 3 m/s.

Tabla 5.6-5. Unidades muebles (UM) del proyecto

Mueble sanitario	UMTO	UMAF	UMAC
Inodoro tanque	1.0	1.0	-
Grifo lavabo público	2.0	1.0	1.0
Grifo lavabo privado	2.0	1.0	1.0
Fregadero privado	2.0	1.5	1.5
Regadera privada	2.0	1.5	1.5
Lavadora	3.0	2.0	2.0
Llave de nariz	2.0	2.0	-
Grifo servicio	2.0	1.5	1.5

Fuente: Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

5.6.1.5 Red de distribución de agua fría (AF)

Líneas a departamentos

El cálculo de la tubería de los alimentadores a los departamentos se determina acumulando los consumos de los muebles sanitarios, es decir, sumando las unidades mueble totales (UMTO) que se tienen en el departamento. La **Tabla 5.6-6** presenta el dimensionamiento. Ya que los departamentos contienen el mismo tipo y cantidad muebles sanitarios la tabla es aplicable para las tres tipologías: A1, B1 y C1.

Tabla 5.6-6. Líneas a departamentos tipo A1, B1 y C1 (agua potable)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
ALM-DEP*	Grifo lavabo privado	3	2.0	2.0	0.86	27.02	32	1.30
	Regadera privada	3	2.0	2.0				
	Fregadero privado	1	2.0	2.0				
	Grifo servicio	1	2.0	2.0				
	Lavadora	1	3.0	3.0				
	Totales:	9		19.0				

Nota(s):

*Aplica para departamento tipo A1, B1 y C1.

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias).

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

Tabla 5.6-7. Líneas a departamentos A1, B1 y C1 (agua tratada)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
ALM-DEP*	Inodoro tanque	3	3.0	3.0	0.20	13.03	13	1.23
	Totales:	3		3.0				

Nota(s):

*Aplica para departamento tipo A1, B1 y C1.

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias).

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

En el caso de la PB, para los sanitarios de coworking y administración, así como el sanitario del gimnasio, se suministra únicamente agua fría. De modo que las unidades muebles a emplear son las UMAF. A continuación, se muestra el dimensionamiento de la tubería de alimentadores a los núcleos de sanitarios.

Tabla 5.6-8. Línea a áreas comunes (agua potable)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
ALM-NS	Grifo lavabo público	3	3.0	3.0	0.20	13.03	13	1.23
	Totales:	3		3.0				

Nota(s):

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias)

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial)

Material de tubería: polipropileno (PPR)

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

Tabla 5.6-9. Línea a áreas comunes (agua potable)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
ALM-DEP	Inodoro tanque	3	3.0	3.0	0.20	13.03	13	1.23
	Totales:	3		3.0				

Nota(s):

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias)

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial), Tubería de polipropileno (Marca "Tuboplus")

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

Línea del alimentador

Asimismo, el cálculo de la tubería para los alimentadores se determina acumulando los consumos de los muebles sanitarios en cada nivel, considerando las unidades mueble totales (UMTO). La **Tabla 5.6-6** presenta el dimensionamiento.

Tabla 5.6-10. Línea de alimentador (agua potable)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
N5-N6	N6		95.0	95.0	2.68	47.70	64	1.15
N4-N5	N5		95.0	190.0	4.04	58.56	64	1.74
N3-N4	N4		95.0	285.0	5.15	66.12	75	1.53
N2-N3	N3		95.0	380.0	6.37	73.53	75	1.90
N1-N2	N2		95.0	475.0	7.54	80.00	100	1.51
CIST-N1	PB (N1)		79.0	554.0	8.48	84.85	100	1.70
	Totales:		554.0					

Nota(s):

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias).

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

Tabla 5.6-11. Línea de alimentador (agua tratada)

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMTO ¹ (unitarias)	UMTO ² (totales)	Q _{MI}	D _t ^a	D _n ^b	v _r ^c
					l/s	mm	mm	m/s
N5-N6	N6		15.0	15.0	0.73	24.89	32	1.11
N4-N5	N5		30.0	30.0	1.26	32.70	32	1.91
N3-N4	N4		45.0	45.0	1.66	37.54	38	1.61
N2-N3	N3		60.0	60.0	2.06	41.82	50	1.25
N1-N2	N2		75.0	75.0	2.34	44.57	50	1.42
CIST-N1	PB (N1)		90.0	90.0	2.57	46.71	50	1.56
	Totales:		690.0					

Nota(s):

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias).

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \ v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

5.6.1.6 Red de distribución de agua caliente (AC)

Sistema de Generación de Agua Caliente (SGAC)

Se considera que el SGAC sea un sistema descentralizado, es decir, un sistema para cada departamento. Se propone un SGAC basado en calentadores instantáneos eléctricos. Para estimar su capacidad, se requiere determinar la demanda de agua caliente, la cual se presenta en la **Tabla 5.6-12**. Se considera que cada mueble sanitario tiene un consumo de AC del 50% del gasto total que demanda. Asimismo, el gasto de

diseño del SGAC es la suma de los gastos de los muebles que operan en simultáneo. Bajo las suposiciones propuestas en la tabla, el gasto simultáneo de AC (q_{sim}) satisface el 50% de la demanda total de agua AC (10.75 lpm de 21.55 lpm). Ya que, los tres tipos de departamentos contienen el mismo número y tipo de muebles sanitarios, la tabla es aplicable para todos ellos.

Tabla 5.6-12. Demandas de AC para departamentos A1, B1 y C1

Demandas de AC (Muebles sanitarios)	q^1	Coef. consumo	q_{AC}	Total muebles	q_{total}	Operación simultánea	q_{sim}
	lpm		lpm	-		-	lpm
Regadera privada	3.80	50%	1.90	3	5.70	3	5.70
Grifo lavabo privado	4.50	50%	2.25	3	6.75	1	2.25
Fregadero privado	5.60	50%	2.80	1	2.80	1	2.80
Grifo de servicio	5.60	50%	2.80	1	2.80	-	0.00
Lavadora	7.00	50%	3.50	1	3.50	-	0.00
				Total:	21.55	Total:	10.75

Nota (s)

1 De acuerdo con la selección de los muebles sanitarios (**Tabla 5.3-1**).

La cantidad de calor que permite elevar en un diferencial de temperatura la masa de una sustancia se determina a partir de la expresión de transferencia de calor (**Ec. 5-17**). Así que, el calentador se puede selección a través de estimar la energía que consume en un período de tiempo determinado o potencia. El cálculo de la potencia requerida por el calentador se presenta en la **Tabla 5.6-13**. Asimismo, los datos del equipo seleccionado se muestran en la **Tabla 5.6-14**.

$$\dot{Q} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$P = \frac{\dot{Q}}{t} = \frac{q \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T}{\eta}$$

Donde:

\dot{Q} : Cantidad de calor (energía térmica) transferida, en (J).

m: Masa de la sustancia, en (kg).

c: Calor específico de la sustancia, en (J/kgK). Para el agua es de 4.178 J/kgK

ΔT : Representa la diferencia entre la temperatura de entrada y salida, en (K).

P: Potencia o tasa de cambio de energía en el tiempo, en (kW o kJ/s)

q: gasto de la sustancia, en (m³/s)

ρ : Densidad de la sustancia, en (kg/m³)

η : Eficiencia (%)

Ec. 5-17

Tabla 5.6-13. Potencia de calentador para departamentos A1, B1 y C1

q_{sim}^1	$\rho(t_e)$	c	t_e^2	t_s^3	ΔT	η	P_t	P_{real}^4	q_r^5
m^3/s	kg/m^3	KJ/Kg·K	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$		kW	kW	m^3/s
0.000179 (10.75 lpm)	999.46	4.178	13.3	40.0	26.7	95%	21.0	24.0	0.0002045 (12.3 lpm)

Nota(s):

1 Gasto simultáneo de AC (q_{sim}) representa el 50% de la demanda total de AC.

2 Temperatura mínima normal del sitio (Figura 5.1-1. Temperaturas máxima, normal y mínima mensual. **Figura 5.1-1**)

3 Temperatura típica para higiene personal.

4 Calentador 24 Tempra® Plus Mod. 239222 de Stibel Eltron

5 Gasto simultáneo de AC real (q_r) representa el 57% de la demanda total de AC.

Tabla 5.6-14. Datos de calentador para departamentos A1, B1 y C1

Parámetro	Valor
Marca	Stibel Eltron
Modelo	24 Tempra® Plus Mod. 239222
Potencia	24 kW
Corriente	Monofásico 50/60 Hz
Voltaje	240 v
Amperaje	2 x 50 A
Eficiencia	95%
Diámetro de conexión (entrada)	3/4" NPT
Diámetro de conexión (salida)	3/4" NPT
Dimensiones (Largo/Ancho/Fondo)	36.9 cm/42 cm/ 11.7 cm

Red de distribución de agua caliente

El cálculo del diámetro de la tubería para abastecer de agua caliente a los muebles sanitarios de cada departamento se presenta en la siguiente tabla. Se utilizan las UMAC.

Tabla 5.6-15. Líneas de agua caliente A1, B1 y C1

Tramo	Mueble sanitario	Cantidad	UMAC ¹ (unitarias)	UMAC ² (totales)	Q_{MI}	D_t^a	D_n^b	v_r^c
					l/s	mm	mm	m/s
CAL-MS	Grifo lavabo privado	3	1.00	3.00	0.65	23.44	19	2.54
	Regadera privada	3	1.50	4.50				
	Fregadero privado	1	1.50	1.50				
	Grifo servicio	1	1.50	1.50				
	Lavadora	1	2.00	2.00				
	Totales:	9		19.0				

Nota(s):

*Aplica para departamento tipo A1, B1 y C1.

1 De acuerdo con la Tabla 2-14 NTC-DEOIH.

2 Cantidad x UMTO (unitarias).

$$a \ D_t = \sqrt{\frac{4 \times Q_{MI}}{v \times \pi}}, \quad v = 1.5 \text{ m/s}$$

b Diámetro nominal (comercial). Material de tubería: polipropileno (PPR).

$$c \ v_r = Q_{MI} / A_n$$

5.6.1.7 Sistema de presión

Con base en las características particulares del edificio se plantea un sistema de abastecimiento con equipo de presión independiente. Para ello se requiere determinar la carga dinámica total (CDT) del sistema. La CDT se determina de acuerdo con la ecuación de energía en sistemas hidráulicos planteada entre el punto ubicado sobre el nivel más desfavorable de la cisterna ($i=1$) y el punto que corresponde a la salida del mueble más desfavorable ($i=2$). Dicha ecuación es como sigue:

Carga dinámica total

$$CDT = H_{est} + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} + \sum_{i=1}^2 h_{f_i}$$

Donde:

CDT: Es la Carga Dinámica Total, en m

H_{est} : Es la altura estática entre el espejo de agua de la cisterna y la salida al hidrante más desfavorable, en m

p_2/γ : Es la presión o carga de trabajo requerida en el mueble sanitario, en mca. Se pueden consultar en las NTC-DEOIH sección 2.6.3 Tabla 2-15 o en la ficha técnica del proveedor.

v_1, v_2 : Son las velocidades medias del fluido en 1 y 2. La diferencia de los cuadrados divididos por la aceleración de la gravedad es despreciable, en m/s

g : Es la aceleración de la gravedad, en m/s^2

$\sum h_f$: Es la sumatoria de las pérdidas por fricción y locales (por accesorios). Se utilizará la fórmula* Darcy-Weisbach, en m

Ec. 5-18

Fórmula de Darcy-Weisbach para la pérdida de carga debido a la fricción en tuberías

$$p = f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = p \times L$$

Donde:

- p: Es pérdida de fricción unitaria, mca/m-tubería
- h_f: Pérdida de carga debida a la fricción en el tramo, en m
- f: factor de fricción de Darcy-Weisbach, ad
- D: Es el diámetro de la sección, en m
- v: velocidad media del fluido, en m/s
- L: longitud de la tubería
- g: Es la aceleración de la gravedad, en m/s²

Ec. 5-19

Con base en lo anterior, a continuación, se presentan los valores de la CDT para los dos tipos de servicios de agua suministrados. La **Tabla 5.6-17** y **Tabla 5.6-18** muestran el cálculo de las pérdidas en las tuberías.

Tabla 5.6-16. CDT para suministros de agua

Tipo de agua	z ₂	p ₂ /γ	(v ₂ ² -v ₁ ²)/2g	Σh _f	CDT
Agua potable	27.20	6.00	0.00	9.51	42.71
Agua tratada	26.45	3.00	0.00	8.63	54.40

Tabla 5.6-17. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción AP.

Tramo	Q _{MI}	D _{COM}	D _{INT}	A	V	Material	f	p	Accesorio	Cant.	L _{eq} *	p*L _{eq}	h _l	L _{tr} *	h _f
	L/s	in	mm	m	m/s	-	D-W	mca/m		pza	m	m		m	m
									Pérdidas locales					Pérdidas fricción	
1-2	0.260	13	14.40	0.0002	1.60	PPR	0.020	0.180	Codo 90°	4.0	2.00	0.36	0.44	5.98	1.08
									Te (paso recto)	1.0	0.15	0.03			
									Cono red./ampl.	1.0	0.30	0.05			
2-3	0.510	25	23.20	0.0004	1.21	PPR	0.020	0.064	Te (paso recto)	3.0	0.90	0.06	0.63	1.25	0.08
									Válvula esfera	1.0	8.25	0.53			
									Cono red./ampl.	1.0	0.65	0.04			
3-4	0.760	32	29.00	0.0007	1.15	PPR	0.020	0.047	Codo 90°	1.0	1.01	0.05	0.07	0.46	0.02
									Te (paso recto)	1.0	0.40	0.02			
4-5	0.860	32	29.00	0.0007	1.30	PPR	0.020	0.060	Codo 90°	6.0	6.06	0.36	2.34	32.96	1.96
									Válvula esfera	3.0	32.40	1.93			
									Cono red./ampl.	1.0	0.85	0.05			
5-6	2.720	50	45.80	0.0016	1.65	PPR	0.020	0.061	Codo 90°	1.0	1.71	0.10	0.25	0.50	0.03
									Te (paso recto)	4.0	2.40	0.15			
N6-N5	2.720	64	54.40	0.0023	1.17	PPR	0.020	0.026	Codo 90°	1.0	1.94	0.05	0.05	3.45	0.09
N5-N4	4.090	64	54.40	0.0023	1.76	PPR	0.020	0.058	Te (paso recto)	1.0	0.70	0.04	0.04	3.45	0.20
N4-N3	5.230	75	65.40	0.0034	1.56	PPR	0.020	0.038	Te (paso recto)	1.0	0.80	0.03	0.12	3.45	0.13
									Cono red./ampl.	1.0	2.30	0.09			
N3-N2	6.470	75	65.40	0.0034	1.93	PPR	0.020	0.058	Te (paso recto)	1.0	0.80	0.05	0.05	3.45	0.20
N2-N1	7.600	100	79.80	0.0050	1.52	PPR	0.020	0.029	Te (paso recto)	1.0	0.90	0.03	0.12	3.45	0.10
									Cono red./ampl.	1.0	3.00	0.09			
N1-CIS	8.620	100	79.80	0.0050	1.72	PPR	0.020	0.038	Codo 90°	7.0	15.47	0.59	0.73	20.57	0.78
									Te (paso recto)	1.0	0.90	0.03			
									Cono red./ampl.	1.0	3.00	0.11			
												Σ=	4.83	Σ=	4.68

1 Mueble más desfavorable: Regadera
 2 Carga de trabajo mueble: 6.0 mca
 3 Diámetro mueble: 13.00 mm

4 Altura NPT a mueble: 1.50 m
 5 Altura hasta entresuelo: 25.70 m
 6 Gravedad: 9.81m/s²

7 Material: Polipropileno (PPR-Tuboplus)

Tabla 5.6-18. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción AT.

Tramo	Q _{MI}	D _{COM}	D _{INT}	A	V	Material	f	p	Accesorio	Cant	L _{eq} *	p*L _{eq}	h _l	L _{fr} *	h _f
	L/s	in	mm	m	m/s	-	D-W	mca/m		pza	m	m		m	m
									Pérdidas locales					Pérdidas fricción	
1-2	0.200	13	14.40	0.0002	1.23	PPR	0.020	0.107	Codo 90°	11.0	5.50	0.59	2.20	42.66	4.55
									Válvula esfera	3.0	14.85	1.59			
									Cono red./ampl.	1.0	0.30	0.03			
2-3	0.800	25	23.20	0.0004	1.89	PPR	0.020	0.157	Te (paso recto)	1.0	0.30	0.05	1.45	0.77	0.12
									Válvula esfera	1.0	8.25	1.30			
									Cono red./ampl.	1.0	0.65	0.10			
N6-N5	0.800	64	54.40	0.0023	0.34	PPR	0.020	0.002	Codo 90°	1.0	1.94	0.00	0.00	3.50	0.01
N5-N4	1.360	64	54.40	0.0023	0.59	PPR	0.020	0.006	Te (paso recto)	1.0	0.70	0.00	0.00	3.50	0.02
N4-N3	1.830	75	65.40	0.0034	0.54	PPR	0.020	0.005	Te (paso recto)	1.0	0.80	0.00	0.01	3.50	0.02
									Cono red./ampl.	1.0	2.30	0.01			
N3-N2	2.230	75	65.40	0.0034	0.66	PPR	0.020	0.007	Te (paso recto)	1.0	0.80	0.01	0.02	3.50	0.02
									Cono red./ampl.	1.0	2.30	0.02			
N2-N1	2.480	100	79.80	0.0050	0.50	PPR	0.020	0.003	Te (paso recto)	1.0	0.90	0.00	0.00	3.50	0.01
N1-CIS	2.820	100	79.80	0.0050	0.56	PPR	0.020	0.004	Codo 90°	7.0	15.47	0.06	0.08	23.35	0.09
									Te (paso recto)	1.0	0.90	0.00			
									Cono red./ampl.	1.0	3.00	0.01			
												Σ=	3.78	Σ=	4.85

1 Mueble más desfavorable: Inodoro

2 Carga de trabajo mueble: 3.0 mca

3 Diámetro mueble: 13.00 mm

4 Altura NPT a mueble: 0.75 m

5 Altura hasta entrepiso: 25.70 m

6 Gravedad: 9.81m/s²

7 Material: Polipropileno (PPR-Tuboplus)

5.6.2 Instalación Sanitaria (IS)

5.6.2.1 Unidades Mueble de Descarga (UMD)

El cálculo de los diámetros de las tuberías de desagüe simula la metodología para calcular los diámetros de las tuberías de suministro de agua. En este caso se asigna unidades muebles de descarga (UMD) a cada aparato sanitario. Como se menciona en la sección 2.6.5 A) de las NTC-DEOIH, los gastos se calcularán acumulando las UMD, partiendo del mueble más alejado y siguiendo la configuración de la red para cada tramo y transformando las UMD posteriormente a gastos con el diagrama de Hunter para drenaje. Las UMD asignadas los muebles del proyecto se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.6-19. Unidades muebles de descarga (UMD) del proyecto

Mueble sanitario	UMD	Conexión
		mm
Inodoro tanque	5.0	100
Grifo lavabo público	1.0	32 (38)
Grifo lavabo privado	2.0	32 (38)
Fregadero privado	3.0	38 (50)
Regadera privada	2.0	50 (50)
Lavadora	3.0	50 (38)
Llave de nariz	2.0	38 (50)
Grifo servicio	3.0	38 (50)

5.6.2.2 Gastos de diseño

Considerando la distribución del agua en el proyecto, como se muestra en la **sección 5.5** (bajo la configuración eficiente), la **Tabla 5.6-20** muestra los gastos medio (Q_m), mínimo (Q_{min}), máximo instantáneo (Q_{MI}) y máximo extraordinario (Q_{ME}). Se distinguen dos redes de drenaje, una para las aguas negras y otra para las aguas grises. La primera red tiene descarga hacia el sistema de drenaje municipal, mientras que la segunda se somete a tratamiento y se reutiliza en servicios no potables. Los factores correspondientes aplicados a cada gasto se basan en la sección 1.2.2 de las NTC-DEOIH. Además, se asume que la aportación equivale al 95% de la demanda.

Tabla 5.6-20. Gastos de descarga de aguas negras y grises

Tipo	Demanda	Q_m^1	Q_{min}^2	Q_{MI}^3	Q_{ME}^4
	l/día	l/s	l/s	l/s	mm
Aguas negras	5,634	0.06	0.03	0.12	0.18
Aguas grises	13,243	0.15	0.07	0.55	0.83

Nota(s):

1 Aportación del 95%

2 La mitad del gasto medio, 1.2.2 NTC-DEOIH

3 Para $P < 1,000$ habitantes, $M = 3.8$. según la sección 1.2.2 NTC-DEOIH

4 1.5 veces el gasto máximo instantáneo, 1.2.2 NTC-DEOIH

5.6.2.3 Red de drenaje

El dimensionamiento de las tuberías de drenaje a gravedad se basa en la ecuación de R. Manning para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías, así como en la ecuación de gasto:

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

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

V: velocidad del agua, en(m/s).

n: coeficiente de rugosidad de Manning, adimensional

R: el radio hidráulico, en (m)

S: la pendiente del canal o tubería, en (m/m)

Q: es el gasto volumétrico, en (m³/s).

A es el área de la sección transversal del flujo, en (m²).

Ec. 5-20

De acuerdo con la sección de las NTC-DEOIH, la velocidad mínima se establece en 0.3 m/s, considerando el gasto mínimo y asegurándose que el tirante correspondiente sea de al menos 1.5 cm. En contraste, la velocidad máxima se determina según el material utilizando los valores de la Tabla 2.1, y se aplica el gasto máximo extraordinario con un tirante mínimo de 1.0 cm. Siguiendo la sección 10.6.1 de las NDIE-IMSS las pendientes mínimas son del 2% para diámetro de 75 mm o menores y del 1.5%, diámetros de 100 mm o mayores, respectivamente.

Para facilitar y agilizar el proceso, la selección de diámetros también se puede realizar utilizando las Tablas 10.2 y 10.3 de las NDIE-IMSS, que proporcionan el máximo número de UMD que se pueden conectar a un ramal, bajada o línea principal.

Tabla 5.6-21. Ramales horizontales y bajadas

Máximo número de unidades muebles que pueden conectarse a:				
Diámetro (mm)	Cualquier ramal horizontal	Bajada de tres pisos o menos	Más de 3 pisos	
			Total en la bajada	Total en un piso
50	6	10	24	6
100	160	240	500	90
150	620	960	1,900	350
200	1,400	2,200	3,600	600
250	2,500	3,800	5,600	1,000

Fuente: Tabla 10.2 de las NDIE-IMSS.

Tabla 5.6-22. Líneas principales horizontales

Máximo número de unidades muebles que pueden conectarse a una línea principal			
Diámetro (mm)	Pendiente		
	1%	1.50%	2%
50	-	-	21
100	180	199	216
150	700	775	840
200	1,600	1,771	1,920
250	2,900	3,210	3,500
300	4,600	5,108	5,600

Fuente: Tabla 10.3 de las NDIE-IMSS

Aguas negras

Con base a lo anterior, la siguiente tabla muestra el dimensionamiento de las columnas bajadas de aguas negras (BAN). Dada la configuración arquitectónica y la ubicación de ductos se propone una BAP para cada departamento.

Tabla 5.6-23. Diseño de BANs

Número	BAN1		BAN2		BAN3		BAN4		BAN5	
Deptos.	101-601		102-602		103-603		104-604		105-605	
UM	Nivel	Acum								
Nivel 6	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Nivel 5	18	36	18	36	18	36	18	36	18	36
Nivel 4	18	54	18	54	18	54	18	54	18	54
Nivel 3	18	72	18	72	18	72	18	72	18	72
Nivel 2	18	90	18	90	18	90	18	90	18	90
Nivel 1	18	108	18	108	15	105	18	108	18	108
Diámetro	100		100		100		100		100	

Aguas grises

Asimismo, la siguiente tabla muestra el dimensionamiento de las columnas bajadas de aguas grises (BAG). Dada la configuración arquitectónica y la ubicación de ductos se propone una BAG para cada departamento.

Tabla 5.6-24. Diseño de BAGs

Número	BAG1		BAG2		BAG3		BAG4		BAG5	
Deptos.	101-601		102-602		103-603		104-604		105-605	
UM	Nivel	Acum								
Nivel 6	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Nivel 5	18	36	18	36	18	36	18	36	18	36
Nivel 4	18	54	18	54	18	54	18	54	18	54
Nivel 3	18	72	18	72	18	72	18	72	18	72
Nivel 2	18	90	18	90	18	90	18	90	18	90
Nivel 1	18	108	18	108	3	93	18	108	18	108
Diámetro	100		100		100		100		100	

5.6.2.4 Red de ventilación

Por otro lado, la selección de diámetros de la tubería de ventilación también se puede realizar utilizando la Tabla 10.4 de las NDIE-IMSS. Se proyecta una columna de ventilación (CV), junto con cada BAN o BAG.

Tabla 5.6-25. Diámetros y longitudes de ventilación

Diámetro de la bajada (mm)	Unidades Muebles conectadas	Diámetro requerido de ventilación									
		32	38	50	64	75	100	125	150	200	
32	2	9									
38	8	15	46								
64	10	9	30								
50	12	9	23	61							
50	20	8	15	46							
38	42		9	30	91						
75	10		9	30	61	183					
75	30			18	61	152					
75	60			15	24	122					
100	100			11	30	79	305				
100	200			9	28	76	274				
100	500			6	21	55	213				
125	200				11	24	107	305			

125	500				9	21	91	274		
125	1100				6	15	61	213		
150	350				8	15	61	122	396	
150	620				5	9	38	91	335	
150	960					7	30	76	305	
150	1900					6	21	61	213	
200	600						15	46	152	396
200	1400						12	30	122	366
200	2200						9	24	107	335
200	3600						8	18	76	244
250	1000							23	38	305
250	2500							15	30	152
250	3800							9	24	107
250	5600							8	18	76

Fuente: Tabla 10.3 de las NDIE-IMSS

Aguas negras

Con base en lo anterior y dada la ubicación de las BANs, la siguiente tabla muestra el dimensionamiento de las columnas de ventilación (CVAN), una para cada bajada.

Tabla 5.6-26. Diseño de CVAN

Número	BAN1		BAN2		BAN3		BAN4		BAN5	
Deptos.	101-601		102-602		103-603		104-604		105-605	
UM	Nivel	Acum								
Nivel 6	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Nivel 5	18	36	18	36	18	36	18	36	18	36
Nivel 4	18	54	18	54	18	54	18	54	18	54
Nivel 3	18	72	18	72	18	72	18	72	18	72
Nivel 2	18	90	18	90	18	90	18	90	18	90
Nivel 1	18	108	18	108	15	105	18	108	18	108
Diámetro	50		50		50		50		50	

Aguas grises

Con base en lo anterior y dada la ubicación de las BAGs, la siguiente tabla muestra el dimensionamiento de las columnas de ventilación (CVAG), una para cada bajada.

Tabla 5.6-27. Diseño de CVAG

Número	BAG1		BAG2		BAG3		BAG4		BAG5	
Deptos.	101-601		102-602		103-603		104-604		105-605	
UM	Nivel	Acum								
Nivel 6	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

Nivel 5	18	36	18	36	18	36	18	36	18	36
Nivel 4	18	54	18	54	18	54	18	54	18	54
Nivel 3	18	72	18	72	18	72	18	72	18	72
Nivel 2	18	90	18	90	18	90	18	90	18	90
Nivel 1	18	108	18	108	3	93	18	108	18	108
Diámetro	50									

5.6.2.5 Planta de tratamiento de aguas grises (PTAG)

La estrategia para el manejo de las aguas grises propone una planta de tratamiento para su reutilización en servicios no potables. La selección de esta planta depende de la oferta del mercado en este ámbito. Con base en los gastos de diseño y para el gasto máximo extraordinario (Q_{ME}) de aguas grises de 0.55 l/s (3 m³/h, 8.7 gpm), se ha identificado que la planta compacta de la marca “AZUD WATERTECH” con modelo “DU5” proporciona una solución adecuada. El tren de tratamiento se muestra en la **Figura 5.6-1**. La calidad del agua debe cumplir con los estándares de la NOM-003-SEMARNAT-1997 CD.

Tabla 5.6-28. Datos de la PTAG para el proyecto

Parámetro	Valor
Marca	AZUD
Modelo	WATERTECH DU5
Gasto máximo	5 m ³ /h
Configuración de discos	1 x 201 AA
Configuración de ultrafiltración	2 x 60"
Potencia	7.9 kW
Corriente	Trifásica 50/60 Hz
Voltaje	380 - 400 V
Amperaje	2 x 50 A
Eficiencia	95%
Diámetro de conexión (entrada)	1 1/4" (40 mm) NPT
Diámetro de conexión (salida)	1 1/2" (50 mm) NPT
Diámetro de conexión (producto)	1 1/4" (40 mm) NPT
Diámetro de conexión (flujo cruzado)	1" (32 mm) NPT
Diámetro de conexión (retorno)	1" (32 mm) NPT
Dimensiones (Largo/Fondo/Alto)	3.2 m/1.7 m/2.4 m
Componentes principales	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba de alimentación trituradora sumergible, en acero inoxidable. • Bomba dosificadora digital para oxidante • Filtro de discos Azud Helix Automática AA (100 µm) con limpieza asistida por aire. • Membranas de ultrafiltración en PVDF (0.08 µm), alojadas en carcasa de PVC. • Sistema de retolavado para la ultrafiltración; incluyendo bomba, soplante, depósito y bomba dosificadora. • Dosificación de cloro residual para la desinfección del agua tratada. • PLC con panel de control táctil. Monitorización de presiones y caudal. • Cuadro eléctrico con transformador, protecciones y arranques.

- Armario metálico de control cerrado con llave. Incluido bastidor para los filtros de anillas y membranas de UF.

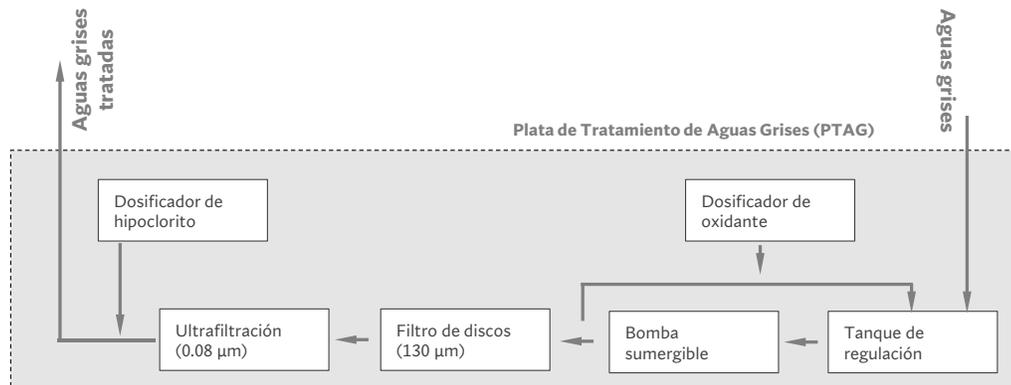


Figura 5.6-1. Tren de tratamiento de aguas grises

5.6.3 Sistema alternativo (SA) e instalación pluvial (IP)

El sistema alternativo tiene como objetivo la captación, conducción, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, infiltración y descarga del agua de lluvia. Bajo este enfoque, se considera que el SA incluye la instalación pluvial (IP). El diseño se basa en lo establecido en la “Guía de elaboración de sistemas alternativos de SACMEX 2023”.

5.6.3.1 Sistema de captación y aprovechamiento pluvial (SCALL)

Sistema de drenaje aéreo

Este sistema se conforma por las coladeras de azotea, bajadas pluviales y colectores aéreos (colgantes). Para el diseño de estos elementos se considera una lluvia con una intensidad de 5 minutos de duración y de 10 años de periodo de retorno. El cálculo del gasto pluvial se basa en la ecuación del Método Racional Americano.

Método Racional Americano

$$Q = 2.778 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Donde:

Q: Gasto en (l/s)

C: Coeficiente de escurrimiento (depende del tipo de superficie), adimensional

i: Intensidad de la precipitación de diseño, en mm/h

A: Área de aportación en ha

2.778: Coeficiente para uniformizar las unidades a l/s

Ec. 5-21

La intensidad de precipitación se puede obtener a partir de la **Figura 5.1-3** que muestra las curvas IDTRr del sitio. Las áreas de captación se conforman por la azotea del edificio que de acuerdo con la clasificación de la guía de SACMEX 2023 estas superficies corresponden a las de clase 1 (cubiertas limpias). Los coeficientes de escurrimiento, de acuerdo con el tipo de superficie se pueden obtener de la “Tabla 5” de la guía de SACMEX 2023 o de la Tabla 1-5 en la sección 1.2.3 B) de las NTC-DEOIH.

La selección de los diámetros de tubería tanto horizontales como verticales se harán con base en el área tributaria acumulada para el tramo en consideración utilizando las Tablas 11.2 a 11.5 de las NDIE-IMSS.

Tabla 5.6-29. Drenajes pluviales horizontales

Precipitación de diseño en mm/h	Área tributaria en proyección horizontal m ²														
	Pendiente 1%					Pendiente 1.5%					Pendiente 2%				
	Diámetro de la tubería					Diámetro de la tubería					Diámetro de la tubería				
	75	100	150	200	250	75	100	150	200	250	75	100	150	200	250
50	152	348	990	2,128	3,828	186	426	1,212	2,604	4,688	214	492	1,396	3,008	5,414
60	127	290	825	1,773	3,190	155	355	1,010	2,170	3,907	178	410	1,163	2,507	4,512
70	109	249	707	1,520	2,734	133	304	866	1,860	3,349	153	4	997	2,149	3,867
80	95	217	619	1,330	2,392	116	266	757	1,627	2,930	134	307	872	1,880	3,384
90	84	193	550	1,182	2,127	103	237	673	1,447	2,604	119	273	776	1,671	3,008
100	76	174	495	1,064	1,914	93	213	606	1,302	2,344	107	246	698	1,504	2,707
110	69	158	450	967	1,740	85	194	551	1,184	2,131	97	224	636	1,367	2,461
120	63	145	412	887	1,595	77	177	505	1,085	1,953	89	205	582	1,253	2,256
130	58	134	381	818	1,472	72	164	466	1,002	1,803	82	189	537	1,157	2,082
140	54	124	354	760	1,367	66	152	433	930	1,674	76	176	499	1,074	1,934
150	51	116	330	709	1,276	62	142	404	888	1,563	71	164	465	1,003	1,805
160	47	109	309	665	1,196	58	133	379	814	1,465	67	154	436	940	1,692
170	45	102	291	626	1,126	55	125	356	766	1,379	63	145	411	885	1,592
180	42	97	275	591	1,063	52	118	337	723	1,302	59	137	388	836	1,504
190	42	92	261	560	1,007	49	112	319	685	1,234	56	129	367	792	1,425
200	38	87	247	532	967	46	1,006	303	651	1,172	53	123	349	752	1,353

Fuente: Tabla 11.2 al 11.4 de las NDIE-IMSS

Tabla 5.6-30. Bajadas pluviales

Precipitación de diseño en mm/h	Área tributaria en proyección horizontal m ²				
	Diámetro de la tubería				
	75	100	150	200	250
50	136	416	868	-	-
60	113	347	723	-	-
70	97	297	620	1,820	-
80	85	260	542	1,592	-
90	76	231	482	1,416	-
100	68	208	434	1,274	2,737
110	62	189	395	1,158	2,488
120	57	173	362	1,062	2,281
130	52	160	334	980	2,105
140	49	149	310	910	1,955
150	45	139	289	849	1,825
160	42	130	271	796	1,711
170	40	122	255	749	1,610
180	38	116	241	708	1,521
190	36	109	228	671	1,441
200	34	104	217	639	1,368

Fuente: Tabla 11.5 de las NDIE-IMSS

Con base en lo anterior, el diseño de las bajadas de aguas pluviales (BAP) se presenta en la siguiente tabla. Dada la configuración arquitectónica del edificio, se propone una BAP en cada departamento, de modo que la azotea queda seccionada en 5 zonas.

Tabla 5.6-31. Diseño de BAP

Tramo	Tipo	Coladera conectada	Área de captación	Área acumulada	Tipo de superficie	C ¹	i ²	Q _p ³	D ⁴
			m ²	m ²		Mínimo	mm/h	l/s	mm
BAP1	Bajada	C-AZ1	168.94	168.94	Clase 1	0.95	169.0	7.53	150
BAP2	Bajada	C-AZ2	175.53	217.04	Clase 1	0.95	169.0	7.83	150
		C-EL1	41.51						
BAP3	Bajada	C-AZ3	191.25	191.25	Clase 1	0.95	169.0	8.53	150
BAP4	Bajada	C-AZ4	193.03	193.03	Clase 1	0.95	169.0	8.61	150
BAP5	Bajada	C-AZ5	168.94	168.94	Clase 1	0.95	169.0	7.53	150

Nota(s):

1 Según Tabla 5 de la guía de SACMEX 2023.

2 Según las curvas iDTr del sitio (Ver **Figura 5.1-3**), i (d= 5 min, T = 10 años)

3 Método racional americano

4 Según Tabla 11.5 de las NDIE-IMSS.

Asimismo, el diseño del colector principal de aguas pluviales (BAP) que recibe a todas las BAPs, se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 5.6-32. Diseño de colector principal de AP

Tramo	Tipo	Coladera conectada	Área de captación	Área acumulada	Tipo de superficie	C ¹	i ²	Q _p ³	s	D ⁴
			m ²	m ²		Mínimo	mm/h	l/s		mm
Colector	Hor.	BAP1, BAP2, BAP3, BAP4, BAP5	939.20	939.20	Clase 1	0.95	169.0	41.89	2%	250

Nota(s):

1 Según Tabla 5 de la guía de SACMEX 2023.

2 Según las curvas iDTr del sitio (Ver **Figura 5.1-3**), i (d= 5 min, T = 10 años)

3 Método racional americano

4 Según las Tabla 11.2 al 11.4 de las NDIE-IMSS.

Cisterna del SCALL

La cisterna del sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) tiene como finalidad el almacenamiento de las superficies de clase 1. Se diseña para ser capaz de almacenar el volumen de lluvia generado por el área total tributaria para una tormenta de 60 minutos de duración y 10 años de periodo de retorno. El volumen de almacenamiento se calcula como el gasto pluvial determinado a través del Método Racional Americano por la duración de la lluvia, en este caso 60 minutos:

Tabla 5.6-33. Volumen de la cisterna del SCAL

Tipo	Área de captación	Tipo de área o material	C ¹	i ²	Q _p ³	h _p	V _{SCALL} ⁴
	m ²		Mínimo	mm/h	l/s	mm	l
Azoteas	939.20	Clase 1	0.95	47.3	11.72	47.3	42,203

Nota(s):

1 Según Tabla 5 de la guía de SACMEX 2023.

2 Según las curvas iDTr del sitio (Ver **Figura 5.1-3**), i (d= 60 min, T = 10 años)

3 Método racional americano

4 $V_{SCALL} = Q_p \times D = 11.72 \text{ l/s} \times 3600 \text{ s}$

Tabla 5.6-34. Cisternas de agua de lluvia

Tipo	V _{SCALL}	Celdas	Largo	Ancho	Tirante útil	Alto
	l/día	-	m	m	m	m
Agua de lluvia	42,203	2	4.30	2.5	1.96	2.20

Planta de tratamiento de agua de lluvia (PTALL)

El manejo del agua de lluvia para su reutilización en servicios potables requiere el tratamiento del agua. La selección e instalación de esta infraestructura generalmente se hacen a través de un subcontratista.

De acuerdo con la guía de SACMEX 2023, previo al ingreso de la cisterna del SCALL, el agua se debe someter a un pretratamiento. Este pretratamiento consta de dos componentes: una rejilla, malla o tamiz que evite la entrada de partículas, hojas, ramas, insectos u otros vectores; y un separador de primeras lluvias, el cual consiste en válvulas, separadores de peso y temporizadores, que permitan la separación de la carga inicial de contaminantes de la lluvia por medio de un mecanismo físico. Para cumplir con estos requerimientos, se ha propuesto la instalación de un filtro de vórtice. Este filtro funciona al generar un vórtice que dirige el flujo de agua a través de las paredes de una malla, lo que permite la eliminación de los contaminantes presentes en el agua de lluvia.

Por otro lado, considerando que el volumen de almacenamiento de la cisterna SCALL de 42,203 litros pueda ser tratada en un tiempo de 8 horas, el gasto de la PTALL corresponde a 1.47 l/s (5.3 m³/h, 23.2 gpm). Se ha identificado que la planta compacta de la marca “WATTS” con modelo “D2-BFD-VC” proporciona una solución adecuada. El tren de tratamiento se muestra en la **Figura 5.6-2**. La calidad del agua debe cumplir con los estándares de la NOM-127-SSA1-2021.

Tabla 5.6-35. Datos de la PTAG para el proyecto

Parámetro	Valor
Marca	WATTS
Modelo	D2-BFD-VC
Gasto máximo	25 gpm
Alimentación	240V/3ph/60hz (conexión de punto único)
Diámetro de conexión (entrada)	1 1/2” (40 mm) NPT
Diámetro de conexión (salida)	1 1/2” (50 mm) NPT
Dimensiones (Largo/Fondo/Alto)	1.98 m/0.87 m/1.90 m
Componentes principales	<ul style="list-style-type: none"> ● Bomba de alimentación trituradora sumergible, en acero inoxidable. Bomba. ● Clasificado para hasta 80 GPM y 125 psi ● Panel de control UL 508a con controlador lógico programable e interfaz táctil a color de 6” ● Huella compacta accesible desde dos lados ● Conexión de alimentación de un solo punto ● Colador de alta capacidad de 50 micrones ● Filtros de bolsa dobles de 5 micrones #2 ● Comunicación de Gestión de Edificios Modbus RS-485 ● Compresor de aireación de 1.5 CFM ● Placa base de acero inoxidable 304 ● Monitoreo de nivel de tanque y flujo

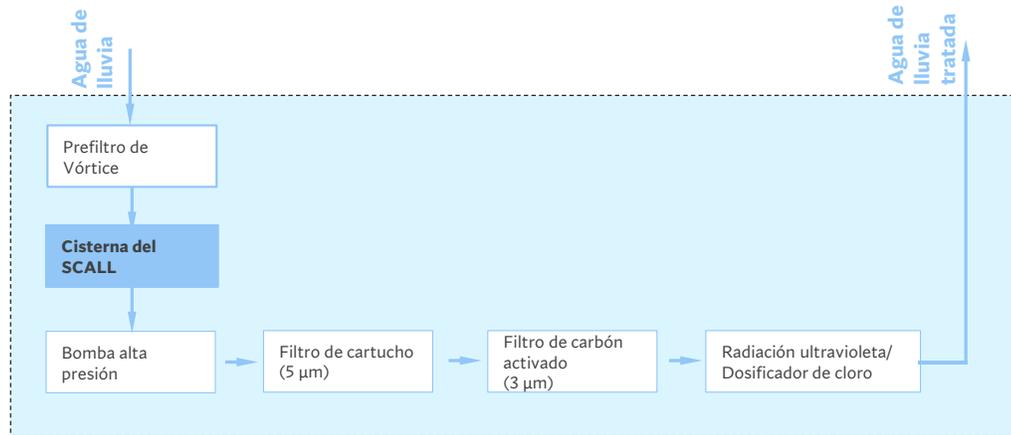


Figura 5.6-2. Tren de tratamiento de aguas de lluvia

5.6.3.2 Sistemas de retención e infiltración pluvial

El diseño hidráulico de los sistemas de retención e infiltración pluvial sigue las recomendaciones técnicas del manual de Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) C753 elaborado por la Asociación de Investigación e Información de la Industria de la Construcción (CIRIA) de Inglaterra (Woods-Ballard, y otros, 2015). De acuerdo con este, a continuación, se presentan las ecuaciones para determinar la máxima altura de agua sobre un componente de infiltración. Asimismo, el componente de infiltración debería descargar desde lleno hasta la mitad en un tiempo razonable para minimizar el riesgo de que no pueda gestionar un evento de lluvia subsiguiente.

Determinación de la profundidad máxima del agua para sistemas de infiltración plana

$$h_{max} = \frac{D(Ri - q)}{n}$$

Donde:

h_{max} : máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración, en m.

R: relación entre el área drenada y el área de infiltración ($R = A_D/A_b$)

q: coeficiente de infiltración, obtenido de la prueba de percolación, en m/h (ajustado por el factor de seguridad apropiado)

i: intensidad de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en m/h

D: duración de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en h

A_b : área de base del sistema de infiltración, en m^2

A_D : área a drenar, en m^2

n: porosidad del material de relleno (volumen de huecos/volumen total)

Ec. 5-22

Tiempo de vaciado medio para sistemas de infiltración plana

$$\frac{t}{2} = \frac{n \cdot h_{max}}{2q}$$

Donde:

t/2: tiempo de vaciado medio del componente de infiltración, en h

n: porosidad del material de relleno (volumen de huecos/volumen total)

h_{max} : máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración, en m

q: coeficiente de infiltración, obtenido de la prueba de percolación, en m/h

Si se estipula que el tiempo para que se vacíe hasta la mitad debe ser inferior a 24 horas y q se mide en m/h, entonces se determina un coeficiente de infiltración aceptable mediante:

$$q \geq \frac{n \cdot h_{max}}{48}$$

Ec. 5-23**Determinación de la profundidad máxima del agua para sistemas de infiltración tridimensionales**

$$h_{max} = a \cdot (e^{-bD} - 1)$$

$$a = \frac{A_b}{P} - i \frac{A_D}{P \cdot q}$$

$$b = \frac{P \cdot q}{n \cdot A_b}$$

Donde:

h_{max} : máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración, en m.

P: Perímetro de la base del sistema de infiltración, en m

R: relación entre el área drenada y el área de infiltración ($R = A_D/A_b$)

q: coeficiente de infiltración, obtenido de la prueba de percolación, en m/h (ajustado por el factor de seguridad apropiado)

i: intensidad de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en m/h

D: duración de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en h

A_b : área de base del sistema de infiltración, en m^2 .

A_D : área a drenar, en m^2

n: porosidad del material de relleno (volumen de huecos/volumen total)

Ec. 5-24

Tiempo de vaciado medio para para sistemas de infiltración tridimensionales

$$\frac{t}{2} = \frac{n \cdot A_b}{q \cdot P} \ln \left(\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

Donde:

h_{max} : máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración, en m

P: Perímetro de la base del sistema de infiltración, en m

R: relación entre el área drenada y el área de infiltración ($R = A_D/A_b$)

q: coeficiente de infiltración, obtenido de la prueba de percolación, en m/h (ajustado por el factor de seguridad apropiado)

i: intensidad de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en m/h

D: duración de eventos de lluvia con el período de retorno requerido en la ubicación del sitio, en h

A_b : área de base del sistema de infiltración, en m^2

A_D : área a drenar, en m^2

n: porosidad del material de relleno (volumen de huecos/volumen total).

Si se estipula que el tiempo para que se vacíe hasta la mitad debe ser inferior a 24 horas y q se mide en m/h, entonces se determina un coeficiente de infiltración aceptable mediante:

$$q \geq \frac{n \cdot A_b}{24 \cdot P} \ln \left(\frac{h_{max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right)$$

Ec. 5-25

En el caso de sistemas de bioretenciones, el área superficial del lecho de filtración puede ser calculado como:

Área superficial de bioretención requerida

$$A_f = \frac{V_t \cdot L}{k_{mf}(h_{w/2} + L) \cdot t}$$

Donde:

A_f : área superficial del lecho de filtración, en m^2

V_t : volumen de agua a ser tratado, en m^3

L: profundidad del lecho de filtración, en m

k: coeficiente de permeabilidad del medio filtrante para el agua, en m/s.

$h_{w/2}$: altura promedio del agua sobre el lecho de filtración (mitad de la altura máxima), en m

t: tiempo requerido para que el volumen de agua de calidad sea tratado a través del lecho de filtración, en s

Para fines de diseño, normalmente se eligen el área superficial y la profundidad del lecho de filtración, y la ecuación se reorganiza para calcular el tiempo necesario para que el volumen de agua pase a través del sistema.

Ec. 5-26

Las superficies que contribuyen al área de aportación para cada componente de infiltración se pueden componer de superficies de concreto (A_{CC}), cubiertas verdes (A_{CV}), jardín de lluvia (A_{JLL}), pavimentos permeables (A_{PP}) o azoteas (A_{AZ}).

Pavimentos permeables (PP)

De acuerdo con el manual SuDS C753 de CIRIA, un pavimento permeable puede clasificarse como tipo A para infiltración total, tipo B para infiltración parcial o tipo C para no infiltración. Esta clasificación depende del coeficiente de permeabilidad del suelo (k). Para el proyecto, con un k del suelo de 25.2 mm/h (7.0×10^{-6} m/s), el tipo de pavimento corresponde a uno tipo A. Asimismo, el espesor de construcción típico para pavimentos depende de la categoría de tráfico. Según las Tabla 20.5 del manual, para aplicaciones domésticas exclusivas para peatones, la categoría de tráfico correspondiente es la 1. De modo que, de acuerdo con la Tabla 20.10 del manual, no se requiere de una capa estructural y los espesores recomendados son: 80 mm de capa superficial de concreto o bloques, capa de asiento de 50 mm y una capa de subbase de 100 mm (componente de infiltración).

Para la zona 1 de pavimentos permeables (PP1), el área para drenar corresponde a 115.29 m², al igual que el área de la base del PP1 ($R=1$). La máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración corresponde a 133 mm, por lo que se propone incrementar la capa de subbase inicial a 200 mm. Por otro lado, el tiempo de vaciado medio corresponde a un 2.38 horas, lo cual es adecuado. El diseño de estos componentes supone un evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años. Asimismo, la intensidad y duración corresponden a la combinación que provoque la altura de agua máxima, las cuales son para una tormenta con intensidad de 35.1 mm/h y una duración de 90 minutos. El sistema permite la infiltración desde la base del pavimento. La infiltración desde los lados es insignificante ya que la profundidad es muy superficial.

Para la zona 2 de pavimentos permeables (PP2), el área para drenar corresponde a 44.0 m², al igual que el área de la base del PP2 ($R=1$). De modo que las consideraciones del diseño hidráulico son iguales. El diseño se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 5.6-36. Áreas y volúmenes de aportación para PP1

No	A_{CC}	A_{CV}	A_{JLL}	A_{PP}	A_{AZ}
	m ²				
1	-	-	-	115.29	-
2					
3					
4					

5					
Subtotal				115.29	0.00
D	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
i	35.08	35.08	35.08	35.08	35.08
C	0.95	0.28 ¹	1.00	1.00	0.95
Q ² (l/s)				1.12	
V ³ (l)				6,066	

Nota(s):

1 Según Mentens, Raes y Hermy (2006), $RO = 693 - 1.15P + 0.001P^2 - 0.5 \times S$
 Para $s = 250$ mm y $P = 839.3$ mm/año, $RO/P = 0.28$.

2 Q, gasto de entrada determinado a través del método racional americano

3 $V = Q \times D$.

Tabla 5.6-37. Áreas y volúmenes de aportación para PP2

No	A _{CC}	A _{CV}	A _{JLL}	A _{PP}	A _{AZ}
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	-	-	-	44.00	-
2					
3					
4					
5					
Subtotal				115.29	0.00
D	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
i	35.08	35.08	35.08	35.08	35.08
C	0.95	0.28 ¹	1.00	1.00	0.95
Q ² (l/s)				0.43	
V ³ (l)				2,315	

Nota(s):

1 Según Mentens, Raes y Hermy (2006), $RO = 693 - 1.15P + 0.001P^2 - 0.5 \times S$
 Para $s = 250$ mm y $P = 839.3$ mm/año, $RO/P = 0.28$.

2 Q_e, gasto de entrada determinado a través del método racional americano

3 $V = Q \times D$.

Tabla 5.6-38. Altura máxima de agua en PP1 y PP2

No	D	D ¹	i ¹	h ²
	minutos	horas	mm/h	mm
1	5	0.08	169.0	44.60
2	10	0.17	133.8	69.69
3	30	0.50	75.6	111.97
4	45	0.75	57.9	123.87
5	60	1.00	47.3	129.81
6	80	1.33	38.3	133.02
7	90	1.50	35.1	133.38
8	120	2.00	28.1	131.44

9	240	4.00	16.2	103.68
10	1,440	24.00	3.6	-380.53

Nota(s):

1 i, D de acuerdo con la Figura 5.1-3.

2

k = 25.20 mm/h (7.0×10^{-6} m/s), ver sección 5.1.7.

FOS = 3 (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

q = 8.4 mm/h (2.33×10^{-6} m/s)

A_D = 115.29 m²

A_b = 115.29 m²

R = 1

n = 0.3, gravas bien graduadas (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

Sistemas de biorretenciones (Jardín de lluvia)

De acuerdo con el manual SuDS C753 de CIRIA el diseño de un sistema de biorretenciones incluye el diseño de la capa del medio filtrante (capa vegetal) y la capa drenante. Esta última se considera como el componente de infiltración y además sirve como una capa de almacenamiento. La ecuación 18.1 del manual permite determinar el área requerida para el sistema de infiltración que depende de la profundidad del medio filtrante y del tiempo de percolado. Para condiciones en donde se hayan establecidos estas variables, dicha ecuación se puede reformular para determinar el tiempo de percolado. Normalmente el medio filtrante tiene una profundidad de 750 a 1000 mm. Asimismo, la permeabilidad del medio filtrante genérico del suelo se encuentra entre 100-300 mm/h. Sin embargo, para tener en cuenta las tasas iniciales de obstrucción (que tienden a disminuir a medida que la comunidad de plantas se establece y aumenta la profundidad de las raíces), el diseño debe basarse en el 50% de la conductividad hidráulica medida del medio compactado.

El sistema de biorretención 1 (SBR1) es un jardín de lluvia que pretende tratar las aguas provenientes de superficies de concreto, cubiertas verdes y del mismo sistema. Asimismo, los SReIP debe ser capaces de manejar el 25% del volumen de la cisterna del SCALL. El área para drenar corresponde a 654.06 m² y el área de la base del SBR1 a 171.4% (R=3.81). El volumen para tratar es de 41.57 m³. Para lo cual, se propone una profundidad de medio filtrante de 1,000 mm y un coeficiente de permeabilidad de 100 mm/h (2.78×10^{-5} m/s). De modo que el tiempo de percolado es de 4.40 h. Para la capa drenante se propone utilizar un sistema de tanques modulares geocelulares para incrementar la porosidad y disminuir la profundidad de la capa. Este sistema tiene una altura de 400 mm por bloque. El diseño hidráulico señala que la máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración corresponde a 225 mm, por lo que un bloque del sistema geocelular es adecuado. Por otro lado, el tiempo de vaciado medio corresponde a 12.74 horas, lo cual es adecuado. El diseño de estos componentes supone un evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años. Asimismo, la intensidad y duración corresponden a la combinación que provoque la altura de agua máxima, las

cuales son para una tormenta con intensidad de 14.7 mm/h y una duración de 270 minutos (4.5 horas).

El sistema de biorretención 2 (SBR2) es un jardín de lluvia que pretende tratar las aguas provenientes de superficies de cubiertas verdes, del mismo sistema, y del agua gris tratada que ha sobrado luego de abastecer las demandas no potables en el edificio. El área para drenar corresponde a 166.34 m² y el área de la base del SBR2 a 75.59% (R=2.20). El volumen para tratar es de 12.37 m³. Para lo cual, se propone una profundidad de medio filtrante de 1,000 mm y un coeficiente de permeabilidad de 100 mm/h (2.78×10^{-5} m/s). De modo que el tiempo de percolado es de 2.97 h. Para la capa drenante se propone utilizar un sistema de tanques modulares geocelulares para incrementar la porosidad y disminuir la profundidad de la capa. Este sistema tiene una altura de 400 mm por bloque. El diseño hidráulico señala que la máxima altura de agua sobre la base del componente de infiltración corresponde a 200 mm, por lo que un bloque del sistema geocelular es adecuado. Por otro lado, el tiempo de vaciado medio corresponde a 11.34 horas, lo cual es adecuado. El diseño de estos componentes supone un evento de lluvia con periodo de retorno de 10 años. Asimismo, la intensidad y duración corresponden a la combinación que provoque la altura de agua máxima, las cuales son para una tormenta con intensidad de 19.5 mm/h y una duración de 190 minutos (3.17 horas).

El diseño de paisaje y biodiversidad estará a cargo del especialista correspondiente.

Tabla 5.6-39. Áreas y volúmenes de aportación para SBR1

No	A _{CC}	A _{CV}	A _{JLL}	A _{PP}	A _{AZ}
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²
1	162.46	11.25	171.74		168.94
2	79.39	11.25			175.53
3		11.55			191.25
4		11.55			41.51
5		12.45			193.03
6		11.55			168.94
7		11.55			
8		11.29			
9		11.29			
10		71.90			
11		64.84			
Subtotal	241.85	240.47	171.74	0.00	516.56*
D	270.00	270.00	270.00	270.00	60.00*
i	14.70	14.70	14.70	14.70	47.34*
C	0.95	0.28 ¹	1.00	1.00	0.95
Q ² (l/s)	0.94	0.27	0.70		6.45

V ³ (l)	15,195	4,453	11,358	23,233
--------------------	--------	-------	--------	--------

Nota(s):

1 Según Mentens, Raes y Hermy (2006), $RO = 693 - 1.15P + 0.001P^2 - 0.5 \times S$

Para $s = 250$ mm y $P = 839.3$ mm/año, $RO/P = 0.28$.

2 Q_e, gasto de entrada determinado a través del método racional americano

3 $V = Q \times D$.

* Se supone que los SRelP son capaces de manejar el 25% del volumen de la cisterna del SCALL. Por lo tanto, sólo se considera el 25% de área de azotea como superficies de aportación. Asimismo, su diseño se basó en una tormenta de 60 minutos y 10 años.

Tabla 5.6-40. Tiempo de percolado en SBR1

Q	V _t	h _{dep}	L	k _{mf}	h _{drain}	h _{w/2}	t _{drain-max}
m ³ /s	m ³	mm	mm	mm/h	mm	mm	h
0.00485	41.57	300	1,000	50*	400	100	4.40

Nota(s):

*50% de la conductividad hidráulica por tasas iniciales de obstrucción

Tabla 5.6-41. Altura máxima de agua en SBR1

No	D	D ¹	i ¹	h ²
	minutos	horas	mm/h	mm
1	5	0.08	169.0	55.71
2	10	0.17	133.8	87.95
3	30	0.50	75.6	147.08
4	45	0.75	57.9	167.59
5	60	1.00	47.3	180.95
6	80	1.33	38.3	193.09
7	90	1.50	35.1	197.66
8	270	4.50	14.7	225.33
9	600	10.00	7.6	216.10
10	1,440	24.00	3.6	138.33

Nota(s):

1 i, D de acuerdo con la Figura 5.1-3.

2

k = 25.20 mm/h (7.0×10^{-6} m/s), ver sección 5.1.7.

FOS = 3 (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

q = 8.4 mm/h (2.33×10^{-6} m/s)

A_D = 654.06 m²

A_b = 171.74 m²

R = 3.81

n = 0.95, sistema de tanques modulares geocelulares (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

Tabla 5.6-42. Áreas y volúmenes de aportación para SBR2

No	A _{CC}	A _{CV}	A _{JLL}	A _{PP}	A _{AZ}
	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²

1		90.75	75.59		
2					
Subtotal	241.85	90.75	75.59	0.00	516.56*
D	190.00	190.00	190.00	190.00	60.00
i	19.54	19.54	19.54	19.54	47.34
C	0.95	0.28 ¹	1.00	1.00	0.95
Q ² (l/s)	0.00	0.14	0.41	0.00	0.00
V ³ (l)	0	1,572	4,677	0	0

Nota(s):

1 Según Mentens, Raes y Hermy (2006), $RO = 693 - 1.15P + 0.001P^2 - 0.5 \times S$

Para $s = 250$ mm y $P = 839.3$ mm/año, $RO/P = 0.28$.

2 Q_e, gasto de entrada determinado a través del método racional americano

3 V = Q x D. Se considera además el volumen aportado de AT de 6,118 l/día.

Tabla 5.6-43. Tiempo de percolado en SBR2

Q	V _t	h _{dep}	L	k _{mf}	h _{drain}	h _{w/2}	t _{drain-max}
m ³ /s	m ³	mm	mm	mm/h	mm	mm	h
0.00062	12.37	300	1,000	50*	400	100	2.97

Nota(s):

*50% de la conductividad hidráulica por tasas iniciales de obstrucción

Tabla 5.6-44. Altura máxima de agua en SBR2

No	D	D ¹	i ¹	h ²
	minutos	horas	mm/h	mm
1	5	0.08	169.0	117.07
2	10	0.17	133.8	135.39
3	30	0.50	75.6	168.31
4	45	0.75	57.9	179.23
5	60	1.00	47.3	186.02
6	80	1.33	38.3	191.79
7	90	1.50	35.1	193.81
8	190	3.17	19.5	200.51
9	600	10.00	7.6	172.73
10	1,440	24.00	3.6	75.53

Nota(s):

1 i, D de acuerdo con la Figura 5.1-3.

2

k = 25.20 mm/h (7.0×10^{-6} m/s), ver sección 5.1.7.

FOS = 3 (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

q = 8.4 mm/h (2.33×10^{-6} m/s)

A_D = 166.34 m²

A_b = 75.59 m²

R = 2.20

n = 0.95, sistema de tanques modulares geocelulares (Tabla 25.2 Manual de SuDS C753 del CIRIA)

Azoteas verdes (AV)

Las azoteas verdes corresponden cubren la losa del entrepiso de nivel de calle. Se proponen la naturación de azoteas con cubiertas de tipo extensivo: altura de sustrato de vegetación de 150 mm y cobertura vegetal de Crasuláceas con crecimiento de plantas de entre 50 y 500 mm. El agua de escorrentía de estas superficies será tratada a través de los sistemas de bioretenciones arriba descritos. Los componentes que componen la cubierta naturada son la capa vegetal, la capa de sustrato, la capa filtrante, la capa drenante, la membrana impermeabilizante anti-raíz y el soporte estructural. Se deberá seguir lo establecido en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017.

5.6.4 Sistemas contra incendio (SCI)

5.6.4.1 Riesgo de incendio de la edificación

De acuerdo con la sección 4.4.1 NTC-PA, el grado de riesgo de incendio para edificaciones habitacionales (Tabla 4.45-B) depende del número de niveles. La edificación tiene 6 niveles lo que implica un riesgo bajo. Sin embargo, para fines de este trabajo, se incluirán los dispositivos para prevenir y combatir incendios de una edificación de riesgo alto: una red de hidrantes, tomas siamesas y depósito de agua, como lo señala la Tabla 4.7 de la sección 4.4.5 de las NTC-PA.

5.6.4.2 Hidrantes y mangueras

Aplican los criterios de las NTC-PA de la sección 4.4.5.4.1:

Tabla 5.6-45. Componentes y características de la red de hidrantes

Componentes	Característica
Material	Lámina calibre 20, color rojo
Dimensiones, cm	88 x 85 x 21
Manguera	1 1/2 “
Boquilla de chorro neblina en bronce	1 1/2 “
Hacha pico	4 1/2 lb

5.6.4.3 Cisterna de PCI

El gasto de diseño se determinará de acuerdo con el número de hidrantes en uso simultáneo como se establece en Tabla 2.16 de la sección 2.6.4 A) de las NTC-DEOIH. El número de hidrantes depende del área construida, para el proyecto, el área construida supera los 5000 m², por lo que se diseñará con 4 hidrantes en uso

simultáneo. En ese mismo inciso se establece que el gasto por hidrante corresponde a 2.82 l/s. De manera que, el gasto de diseño es:

$$Q_d = 2.82 \text{ l/s} \cdot \text{hidrante} \times 4 \text{ hidrantes} = 11.28 \text{ l/s}$$

Asimismo, de acuerdo con la NFPA 13, la duración del suministro de agua en los sistemas de seguridad contra incendio no debe ser menor a 60 minutos. Por lo tanto, el volumen de la reserva de incendio, que deberá estar disponible en el depósito específicamente determinado para el uso de este sistema, queda definido de la siguiente manera:

Tabla 5.6-46. Cisternas de PCI

Tipo	Vol. NTC	Vol. Secc. 5.5 (Config. eficiente)	Vol. de diseño ¹	Vol. reserva ²	Vol. total de diseño	Celdas	Largo	Ancho	Tirante útil	Alto ³
	l/día	l/día	l/día	l/día	l/día	-	m	m	m	m
Agua tratada			40,608		40,608	2	4.30	3.50	1.69	2.20*

Nota(s):

1 NFPA 13, suministro con duración de 60 minutos.

3 Se considera un colchón de 20 cm.

* El volumen de agua se comparte con el agua tratada. El volumen de AT + PCI es de 60,382 l.

5.6.4.4 Red hidráulica

Los diámetros de tubería se determinarán de acuerdo con lo establecido en las NTC-DEOIH en su sección 2.6.4 B), en donde se señala que los diámetros de las tuberías de alimentación a un hidrante serán de:

- 2 in (50 mm) – 1 hidrante
- 2 1/2 in (64 mm) – 2 hidrantes
- 3 in (75 mm) – 3 hidrantes
- 4 in (100 mm) – 4 hidrantes o más

5.6.4.5 Sistema de presión

Carga dinámica total (CDT)

La carga dinámica total (CDT) se determinará de acuerdo con la ecuación de energía en sistemas hidráulicos utilizada con anterioridad en la sección 5.6.1.7. Sin embargo, para la estimación de las pérdidas por fricción en la tubería siguen lo establecido en la NFPA-14 Sección 8.3.

Fórmula de Hazen-Williams para la pérdida de carga debido a la fricción en tuberías

$$p = \left(\frac{Q}{35.834 \times 10^{-7} \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}}$$

$$h_f = p(L_{tr} + L_{eq} \times f_1 \times f_2)$$

Donde:

p: Es pérdida de fricción unitaria, mca/m-tubería
h_f: Pérdida de carga debida a la fricción en el tramo, en m

Q: Es el gasto en la sección, en l/s
C: coeficiente de pérdida por fricción, ad
D: Es el diámetro de la sección, en mm
L_{tr}: longitud de la tubería, en m
L_{eq}: longitud equivalente por accesorios en la tubería (Tabla 8.3.1.3 NFPA-14), en m

f₁: Factor que modifica L_{eq} según el factor C.

f₂: Factor que modifica L_{eq} según el tipo de cédula, $f_2 = \left(\frac{D_x}{D_{40}} \right)^{\frac{2.63}{0.54}}$.

Ec. 5-27

Tabla 5.6-47. Longitudes equivalentes (en pies)

	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	50 mm	65 mm	80 mm	90 mm	100 mm	115 mm	150 mm	200 mm	250 mm	300 mm
Accesorios y válvulas	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	5"	6"	8"	10"	12"
Codo 45°	1	1	1	2	2	3	3	3	4	5	7	9	11	13
Codo estándar 90°	2	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	18	22	27
Codo giro largo 90°	1	2	2	2	3	4	5	5	6	8	9	13	16	18
En T o Cruz (flujo 90°)	3	5	6	8	10	12	15	17	20	25	30	35	50	60
Válvula de compuerta					6	7	10		12	9	10	12	19	21
Válvula de mariposa					1	1	1	1	2	2	3	4	5	6
Válvula de retención		5	7	9	11	14	16	19	22	27	32	45	55	65
Válvula de globo (recto)				46		70								
Válvula de ángulo				20		31								

Nota(s):

Basado en la NFPA 14 - Tabla 8.3.1.3

Tabla 5.6-48. Coeficientes “C” de Hazen-Williams

Material	C
De hierro dúctil o fundido sin revestimiento	100
De acero negro (seco)	100
De acero negro (húmedo)	120
Galvanizado (húmedo)	120
Galvanizado (seco)	100
Plástico (todos listados)	150
De hierro dúctil o fundido con revestimiento de cemento	140
Tubo de cobre o acero inoxidable	150

Nota(s):

Basado en la NFPA 13 - Tabla 8.3.2.3

Tabla 5.6-49. Valores de f_1

C	f_1
100	0.731
130	1.16
140	1.33
150	1.51

Nota(s):

Basado en la NFPA 14 - Tabla 8.3.2.2

De acuerdo con la configuración de hidrantes y para el más desfavorable, la CDT se presenta a continuación. El cálculo de las pérdidas en las tuberías se muestra en la **Tabla 5.6-51:**

Tabla 5.6-50. CDT para suministros de agua de PCI

Tipo de agua	z_2	p_2/γ	$(v_2^2 - v_1^2)/2g$	Σh_f	CDT
	m	m	m	m	m
PCI	27.44	25.00	0.00	2.58	55.02

Tabla 5.6-51. Pérdidas locales (accesorios) y por fricción SCI.

Tramo	Q _{MI}	D _{COM}	D _{INT}	A	V	Material	f ^a	f ₁ ^b	f ₂ ^c	p ^d	Accesorio	Cant.	L _{eq} ^e	p*L _{eq}	h _l	L _{tr}	h _f
	L/s	in	mm	m	m/s	-	H-W	-	-	mca/m		pza	m	m	m	m	m
											Pérdidas locales					Pérdidas fricción	
HID-N6	2.820	50	54.79	0.0024	1.20	De acero negro	120	1	1	0.040	Válvula de ángulo	1.0	0.00	0.00	0.18	11.46	0.46
											Codo estándar 90°	3.0	4.57	0.18			
N6-N5	2.820	64	66.93	0.0035	0.80	De acero negro	120	1	1	0.015	Codo estándar 90°	1.0	1.83	0.03	0.03	3.35	0.05
N5-N4	5.640	75	82.80	0.0054	1.05	De acero negro	120	1	1	0.019	En T o Cruz	1.0	4.57	0.09	0.13	3.35	0.06
											Cono red./ampl.	1.0	2.44	0.05			
N4-N3	8.460	100	108.20	0.0092	0.92	De acero negro	120	1	1	0.011	En T o Cruz	1.0	6.10	0.07	0.11	3.35	0.04
											Cono red./ampl.	1.0	4.14	0.05			
N3-N2	11.280	100	108.20	0.0092	1.23	De acero negro	120	1	1	0.019	En T o Cruz	1.0	6.10	0.11	0.19	3.35	0.06
											Cono red./ampl.	1.0	4.14	0.08			
N2-N1	11.280	100	108.20	0.0092	1.23	De acero negro	120	1	1	0.019	En T o Cruz	1.0	6.10	0.11	0.11	3.35	0.06
N1-CIS	11.280	100	108.20	0.0092	1.23	De acero negro	120	1	1	0.019	Codo estándar 90°	7.0	21.34	0.40	0.60	25.49	0.48
											En T o Cruz	1.0	6.10	0.11			
											Cono red./ampl.	1.0	4.14	0.08			
														Σ=	1.36	Σ=	1.22

Nota(s):

a Tb. 8.3.2.3 NFPA-14
b Tb. 8.3.2.2 NFPA-14
c Ec. 8.3.2.5 NFPA-14
d Ec. 8.3.3.1.1 NFPA-14
e Tb. 8.3.1.3 NFPA-14

1 Mueble más desfavorable: Hidrante
2 Carga de trabajo mueble: 25 mca
3 Diámetro mueble: 50 mm
4 Altura NPT a mueble: 1.74 m
5 Altura hasta entepiso:25.70 m
6 Gravedad: 9.81m/s²
7 Material: Acero negro

Selección de bombas

De acuerdo con el gasto y CDT calculados con anterioridad, a continuación, se presenta la elección de los equipos de bombeo. La selección se hará de acuerdo con las sugerencias de la sección 6.1.2 de la NFPA-20. De acuerdo con esto, las bombas deben proporcionar no menos del 150 por ciento del caudal nominal a no menos del 65 por ciento de la presión nominal, y la presión de cierre (caudal cero) no debe de exceder el 140 por ciento de la presión nominal. De modo que cualquier impulsor (representado por su curva) dentro de los límites establecidos por esos tres puntos puede ser correcto, pero habrá que corregir los valores de gasto y carga, esto se ejemplifica más adelante.

La potencia teórica del motor de una bomba está dada por:

<p>Potencia del motor de una bomba</p> $P_t = \frac{Q_n \cdot H_n}{3960 \cdot \eta}$ <p>Donde:</p> <p>P: Es la potencia teórica del motor, en HP Q: Es el gasto nominal, en gpm H: Es la CDT nominal, en ftca η: Es la eficiencia del motor</p>	<p>Ec. 5-28</p>
--	------------------------

Bomba eléctrica

Además de los criterios de la sección 6.1.2, la sección 9.5.2.2 de la NFPA-20, establece que la potencia del motor debe modificarse por un factor de servicio máximo (FSM) de 1.15. De tal manera que se tiene la siguiente tabla:

<p>Potencia de bomba eléctrica</p> $P_{nom} = FSM \times P_t$ <p>Donde:</p> <p>P_{nom}: Es la potencia nominal del motor, en HP P_t: Es la potencia teórica del motor, en HP FS: Es el factor de servicio, 1.15</p>	<p>Ec. 5-29</p>
---	------------------------

Con base en lo anterior la **Tabla 5.6-52** presenta el procedimiento para la bomba eléctrica. La potencia corresponde al valor más alto calculado entre los puntos planteados. Finalmente, el equipo de bombeo eléctrico es un modelo 480 de la marca Aurora, serie 912, con una capacidad de 250 gpm, un motor eléctrico de 30 HP a 3560 rpm, una conexión trifásica a 60 Hz y una carcasa bipartida. El diámetro del impulsor no está proporcionado por el fabricante en las curvas, por lo que debe ser verificado. A continuación, se muestra la curva de la bomba.

Tabla 5.6-52. Determinación de la bomba eléctrica del SCI.

Datos iniciales										
Punto	Coordenada	Q	H							
		gpm	mca	ftca	psi					
P ₁	Q _n , H _n	250.0	55.0	180.5	78.2					
P ₂	1.5Q _n , 0.65H _n	375.0	35.8	117.3	50.9					
P ₃	0, 1.4H _n	0.0	77.0	252.7	109.5					
Ajustados a la curva del impulsor seleccionado										
Punto	Coordenada	Q	H			η	P _{teo}	P _{nom}	P _{com}	
		gpm	mca	ftca	psi	-	HP	HP	HP	
P ₁ '	Q _n , H _n	250.0	56.3	184.6	80.0	0.61	19.1	22.0	25.0	
P ₂ '	1.5Q_n, 0.65H_n	375.0	45.0	147.7	64.0	0.64	21.8	25.1	30.0	
P ₃ '	0, 1.4H _n	0.0	60.5	198.4	86.0	-	-	-	-	

250 G.P.M. 912 SERIES ELECTRIC MOTOR DRIVE

Section **912** Page **401**
Date **June 1999**

Supersedes Section 912 Page 401
Dated December 1992

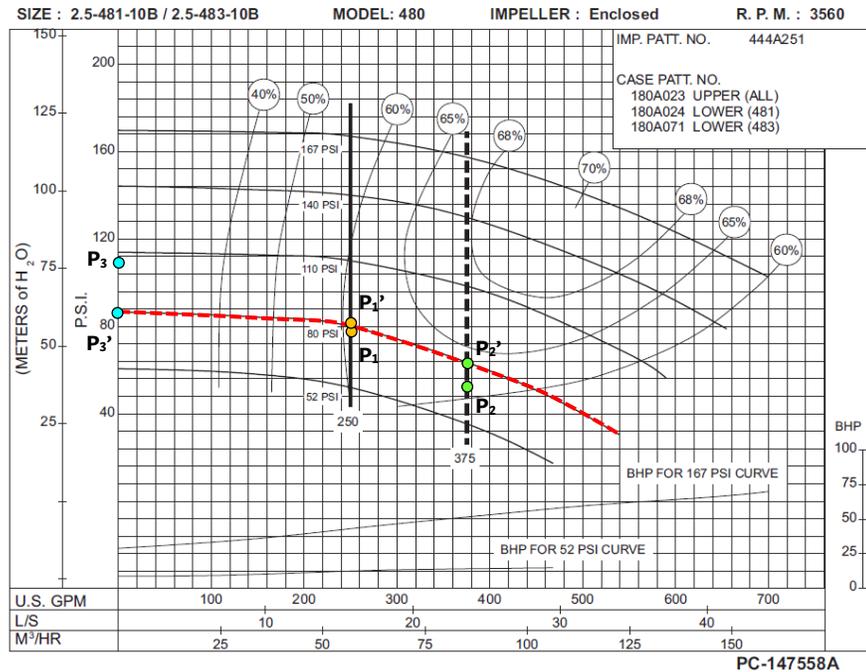


Figura 5.6-3. Curva de la bomba eléctrica del SCI

La curva del impulsor seleccionado (color rojo) debe estar entre los límites establecidos entre los puntos P_2 y P_3 . Luego, los puntos P_1 , P_2 y P_3 deben proyectarse verticalmente a la curva del impulsor seleccionado. Y finalmente, estos nuevos puntos, P_1' , P_2' y P_3' , se utilizan para calcular la potencia del motor de la bomba.

Bomba diésel:

Además de los criterios de la sección 6.1.2, la sección 11.2.2.4 de la NFPA-20 establece que el motor debe ser afectado por una reducción del 3 por ciento de la certificación de caballos de fuerza en condiciones normales de SAE por cada 100 pies (300 m) de altitud cuando se excedan los 300 pies (91 m); y una reducción del 1 por ciento de la certificación de caballos de fuerza corregido a condiciones normales de SAE por cada 10°F (5.6°C) cuando se excedan los 77°F (25°C), es decir:

Potencia nominal de bomba diésel

$$P_{nom} = \frac{P_t}{(1 - FCA) \times (1 - FCT)}$$

$$FCA = \frac{ASN M - 300}{1000} \times 3\% \text{ si } ASN M > 300 \text{ ftsm (91 msnm)}$$

$$FCT = \frac{T - 77}{10} \times 1\%, \text{ si } T > 77^\circ F (25^\circ C)$$

Donde:

P_{nom} : Es la potencia nominal del motor, en HP
 P_t : Es la potencia teórica del motor, en HP
 FCA: Es el factor de corrección por altitud
 FCT: Es el factor de corrección por temperatura. Aplica cuando la temperatura del fluido sea mayor a 77 °F (25°C).
 ASN M: Es la altura sobre el nivel del mar, en ftsm. Aplica cuando altura sea mayor a 300 ftsm (91 msnm).
 T: Es la temperatura ambiente, en °F

Ec. 5-30

Con base a lo anterior la **Tabla 5.6-53** presenta el procedimiento para la bomba diésel. La potencia corresponde al valor más alto calculado entre los puntos planteados. Finalmente, el equipo de bombeo diésel es un modelo 480 de la marca Aurora, serie 913, con una capacidad de 250 gpm, un motor eléctrico de 37 HP a 3550 rpm, una conexión trifásica a 60 Hz y una carcasa bipartida. El diámetro del impulsor no está proporcionado por el fabricante en las curvas, por lo que debe ser verificado. A continuación, se muestra la curva de la bomba.

Tabla 5.6-53. Determinación de la bomba diésel del SCI.

Datos iniciales										
Punto	Coordenada	Q	H							
		gpm	mca	ftca	psi					
P ₁	Q _n , H _n	250.0	55.0	180.5	78.2					
P ₂	1.5Q _n , 0.65H _n	375.0	35.8	117.3	50.9					
P ₃	0, 1.4H _n	0.0	77.0	252.7	109.5					
Ajustados a la curva del impulsor seleccionado										
Punto	Coordenada	Q	H			η	P _{teo}	P _{nom}	P _{com}	
		gpm	mca	ftca	psi	-	HP	HP	HP	
P ₁ '	Q _n , H _n	250.0	56.3	184.6	80.0	0.61	19.1	24.2	27.0	
P ₂ '	1.5Q_n, 0.65H_n	375.0	45.0	147.7	64.0	0.64	21.8	27.7	37.0	

P_3'	0, 1.4H _n	0.0	60.5	198.4	86.0	-	-	-	-
--------	----------------------	-----	------	-------	------	---	---	---	---

Notas:
 ASMN = 7,347.2 ftsm (2,240 msnm)
 T = 68 °F (20°C)
 FCA = 0.21
 FCT = 0

AURORA® 250 GPM 913 SERIES
 DIESEL ENGINE DRIVE

Section **913** Page **401**
 Date **July 2013**

Supersedes Section 913 Page 401
 Dated September 2009

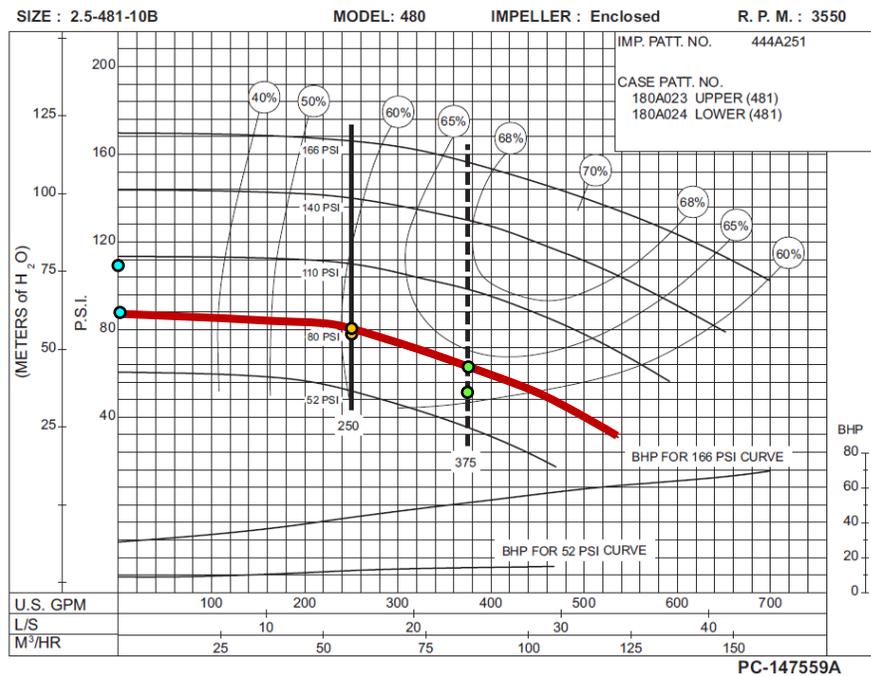


Figura 5.6-4. Curva de la bomba diésel del SCI

La curva del impulsor seleccionado (color rojo) debe estar entre los límites establecidos entre los puntos P_2 y P_3 . Luego, los puntos P_1 , P_2 y P_3 deben proyectarse verticalmente a la curva del impulsor seleccionado. Y finalmente, estos nuevos puntos, P_1' , P_2' y P_3' , se utilizan para calcular la potencia del motor de la bomba.

6. Conclusiones

El enfoque del diseño es clave para la gestión sustentable del agua en los edificios. Para ello, es crucial definir un marco de referencia orientado a minimizar el impacto ambiental y mejorar el desempeño de las edificaciones. Si bien cada proyecto requiere un enfoque adaptado a un contexto específico, este conjunto de principios, pautas, reglas o criterios ayuda a tomar decisiones coherentes y acertadas durante la conceptualización de un proyecto, lo que permite alcanzar los beneficios buscados. Definir los objetivos y metas del diseño es un proceso crítico y complejo, y es en este punto donde las certificaciones de edificación sustentable ofrecen una base desde la cual el diseño tradicional puede ser sustituido con miras a una mejora.

Los objetivos en los que se engloban las estrategias parecen ser la reducción de la demanda (uso de tecnologías eficientes), el uso de fuentes alternativas (compensar), la incorporación de infraestructura para retención e infiltración y la medición del consumo de agua. Asimismo, las certificaciones proporcionan herramientas de evaluación útiles para comprender el panorama del uso del agua en el edificio.

En el caso particular del caso de estudio de este trabajo, se establecieron estrategias dirigidas a su contexto. Específicamente, la incorporación de aparatos sanitarios eficientes logró reducir casi la mitad del agua requerida comparado con el edificio de referencia, siendo esta la estrategia de mayor impacto. Normalmente, se otorgan designaciones de ahorro de agua cuando se logra una reducción determinada en el consumo, lo que hace que la introducción de aparatos sanitarios eficientes sea una vía prescriptiva, sin necesidad de evaluar el uso del agua en el edificio.

Asimismo, el diseño adecuado del paisaje suave supuso una reducción del casi dos terceras partes del edificio de referencia. A pesar de que el impacto es menor en términos absolutos debido al área de paisaje suave más pequeña en comparación con la superficie construida de departamentos, sigue siendo relevante debido a sus implicaciones en biodiversidad e integración social.

Otra estrategias de gran impacto fue el tratamiento y reutilización de aguas residuales. Casi el 20% de agua del edificio de referencia es compensada a través de esta estrategia. En este caso, es fundamental estimar el uso del agua en el edificio, ya que pone en perspectiva el impacto de incorporar una planta de tratamiento, pero más importante, resulta en un dimensionamiento más acertado.

Finalmente, a través de la gestión del agua de lluvia se logra compensar casi un 5% del agua la línea base. Para la configuración eficiente, esto implica compensar casi el 10%.

En términos del balance de agua en el edificio diseñado con la configuración eficiente, compensar el agua consumida se logra principalmente gracias al tratamiento y reutilización de las aguas grises, representando casi una tercera. Asimismo, la gestión del agua de lluvia para el uso en el edificio compensa casi el 10%. El agua devuelta, ya sea por la gestión del agua escurrida o por el tratamiento de las aguas grises, también equivale casi una tercera parte del agua requerida por el proyecto. En este balance, sólo el 23% del agua potable tradicional desequilibra la relación entre entradas y salidas del sistema. Estas técnicas de evaluación son fundamentales para dimensionar y entender las implicaciones de cada estrategia y juzgar de manera sólida y objetiva el diseño de un edificio.

La legislación ha ido apegándose, cada vez más, a la gestión adecuada del agua, pero sólo en edificaciones de alto impacto. En el caso de la Ciudad de México, esto es debido a que el PCES se convierte en un instrumento legalmente obligatorio. Sin embargo, en edificaciones de medianas o pequeñas dimensiones, la adopción de este enfoque es voluntaria y dependerá del compromiso de los desarrolladores de proyectos. Por ejemplo, la instalación de aparatos sanitarios eficientes no es un requisito, al igual que el tratamiento y reutilización de las aguas residuales, la selección de especies vegetales adecuadas o la implementación de sistemas de riego eficientes. Además, los estándares de diseño no proveen herramientas para estimar y evaluar el uso del agua en el edificio. Aunque estas complicaciones pueden estar relacionadas con los costos asociados, es un desafío que los desarrolladores deberían asumir. Sin embargo, no todos los objetivos son indiferentes a la normatividad. Por ejemplo, las prácticas relacionadas con la gestión del agua de lluvia han demostrado un mayor compromiso a este desafío, principalmente por la obligación de incluir un SCALL, especialmente en edificaciones de medianas dimensiones. Es por ello que la legislación representa uno de los principales impulsores para la adopción de prácticas sustentables.

Este trabajo proporciona una referencia sobre el diseño de un edificio, asumiendo un enfoque de eficiencia en el uso del agua. Utiliza las bases propuestas por las certificaciones de edificación sustentable y presenta un análisis detallado del uso y balance del agua en el edificio.

7. Referencias

- Awadh, O. (2017). Sustainability and green building rating systems: LEED, BREEAM, GSAS and Estidama critical analysis. *Journal of Building Engineering*, 11, 25-29.
- Chen, Y., & Bilton, A. M. (2022). Water Stress, Peri-Urbanization, and Community-Based Water Systems: A Reflective Commentary on the Metropolitan Area of Mexico City. *Frontiers in Sustainable Cities*,(4), 790633.
- CONAGUA. (Octubre de 2022). *Estadísticas del Agua en México 2021*. Ciudad de México, México.
- CONFOVI. (2005). *Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales* (1ra ed.). Ciudad de México, México.
- DeOreo, W. B., Mayer, P., Dziegielewski, B., & Kiefer, J. (2016). *Residential End Uses of Water, Version 2: Executive Report*. Denver, CO: WRF.
- EPA-WaterSense. (2012). *Best Management Practices for Commercial and Institutional Facilities*. US.
- EPA-WaterSense. (2014). *WaterSense Water Budget Approach: Version 1.02*.
- EPA-WaterSense. (2021). *WaterSense Technical Evaluation Process for Approving Home Certification Methods: Version 1.0*.
- FEMP. (s.f.). *Net Zero Water Building Strategies*. Recuperado el 1 de julio de 2023, de <https://www.energy.gov/femp/net-zero-water-building-strategies>
- Gardels, D. J. (2011). *Economic Input-Output Life Cycle Assessment of Water Reuse Strategies in Residential Buildings and Communities*. Civil Engineering Theses, Dissertations, and Student Research. 18.
- GOBCDMX. (2020). *Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables de la Ciudad de México*. Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Jenkins, D., Pearson, F., Moore, E., Kim, S. J., & Valentine, R. (1978). *Feasibility of rainwater collection systems in California*. Office of Water Research and Technology, Estados Unidos.
- Joustra, C. M., & Yeh, D. H. (2015). Joustra, C. M., & Yeh, D. H. (2015). Framework for net-zero and net-positive building water cycle management. *Building Research & Information*, 43(1), 121-132.
- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and urban planning*, 77(3), 217-226.
- Nguyen, B. K., & Altan, H. (2011). Comparative review of five sustainable rating systems. *Procedia Engineering*, 21, 376-386.
- Ramírez-Fuentes, G. R., Soto-Montes de Oca, G., Acosta Peña, B. A., Maya González, L. N., & Sánchez Villarreal, F. (2012). *Estimación de los factores y funciones de*

- la demanda de agua potable en el sector doméstico en México*. México: CIDE/CONAGUA.
- SACMEX. (2023). *Guía de elaboración de Sistemas Alternativos*. Ciudad de México.
- Sámano, G. (2017). *Diseño de un sistema de captación de agua de lluvia en la Academia Mexicana de Ciencias*. [Tesis de especialización]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- USGBC. (2020). *LEED v4.1 Residential BD+C Multifamily Homes*.
- Woods-Ballard, B., Wilson, S., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., & Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual (C753)*. London: CIRIA.

Anexos

7.1 Normas nacionales e internacionales

Agua	
NOM-003-CONAGUA-1996	Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
NOM-014-CONAGUA-2003	Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
NOM-127-SSA1-2021	Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
NMX-AA-006-SCFI-2010	Análisis de agua - Determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-006-SCFI-2000).
NOM-117-SSA1-1994	Determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
NOM-179-SSA1-1998	Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público.
NOM-230-SSA1-2002	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
NMX-AA-004-SCFI-2013	Análisis de agua - Medición de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-004-SCFI-2000).
NMX-AA-008-SCFI-2016	Análisis de agua - Medición de pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2011).
NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-028-1981).
NMX-AA-029-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-029-1981).
NMX-AA-034-SCFI-2015	Análisis de agua - Medición de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-034-SCFI-2001).
NMX-AA-036-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-036-1980).
NMX-AA-072-SCFI-2001	Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-072-1981).
NMX-AA-093-SCFI-2000	Análisis de agua - Determinación de la conductividad electrolítica - Método de prueba (Cancela a la NMX-AA-093-1984).
NOM-001-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
NMX-C-122-ONNCCE-2004	Industria de la construcción - Agua para concreto - Especificaciones (Cancela a la NMX-C-122-1982).
NOM-015-CONAGUA-2007	Infiltración artificial de agua a los acuíferos - Características y especificaciones de las obras y del agua.
NOM-244-SSA1-2008	Equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua - Requisitos sanitarios.
NOM-002-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.
NOM-004-SEMARNAT-2002	Protección ambiental - Lodos y biosólidos - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
NOM-003-SEMARNAT-1997	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de CONAGUA.

Instalación hidrosanitaria	
NOM-230-SSA1-2002	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
NOM-001-CONAGUA-2011	Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario - Hermeticidad - Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-009-CONAGUA-2001	Inodoros para uso sanitario - Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-010-CONAGUA-2000	Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro - Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-008-CONAGUA-1998	Regaderas empleadas en el aseo corporal - Especificaciones y métodos de prueba.
NOM-005-CONAGUA-1996	Flujómetros - Especificaciones y métodos de prueba.
NMX-C-415-ONNCCE-2015	Industria de la construcción - Válvulas y grifos para agua - Especificaciones y métodos de ensayo (cancela a la NMX-C-415-ONNCCE-2013).
NMX-C-252-ONNCCE-2014	Industria de la construcción - Tubos de concreto preesforzado, sin cilindro de acero, para conducción y distribución de agua a presión - Especificaciones y métodos de ensayo. (Cancela a la NMX-C-252-ONNCCE-2011).
NMX-C-253-ONNCCE-2014	Industria de la construcción - Tubos de concreto preesforzado, con cilindro de acero, para conducción y distribución de agua a presión - Especificaciones y métodos de ensayo. (Cancela a la NMX-C-253-ONNCCE-2011).
NMX-E-110-1981	Plásticos - Tubos ABS para Drenaje.
NMX-AA-176-SCFI-2015	Instalaciones hidrosanitarias para la edificación de vivienda - Especificaciones y métodos de ensayo.
NMX-T-021-SCFI-2014	Industria hulera - Anillos de hule empleados como empaque en los sistemas de tuberías - Especificaciones y métodos de ensayo (cancela a la NMX-T-021-SCFI-2009).

Sustentabilidad	
NMX-AA-143-SCFI-2015	Para la certificación del manejo sustentable de los bosques (cancela a la NMX-AA-143-SCFI-2008).
NMX-AA-164-SCFI-2013	Edificación sustentable - criterios y requerimientos ambientales mínimos.
NOM-156-SEMARNAT-2012	Establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de la calidad del aire.
NOM-015-STPS-2001	Condiciones térmicas elevadas o abatidas - Condiciones de seguridad e higiene.
NOM-011-STPS-2001	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
NOM-116-STPS-2009	Seguridad - Equipo de protección personal - Respiradores purificadores de aire de presión negativa contra partículas nocivas - Especificaciones y métodos de prueba. (Última modificación del 24/03/2017).
NOM-020-SSA1-2014	Salud ambiental - Valor límite permisible para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
NOM-025-SSA1-2014	Salud ambiental - Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación.
NOM-005-STPS-1998	Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.