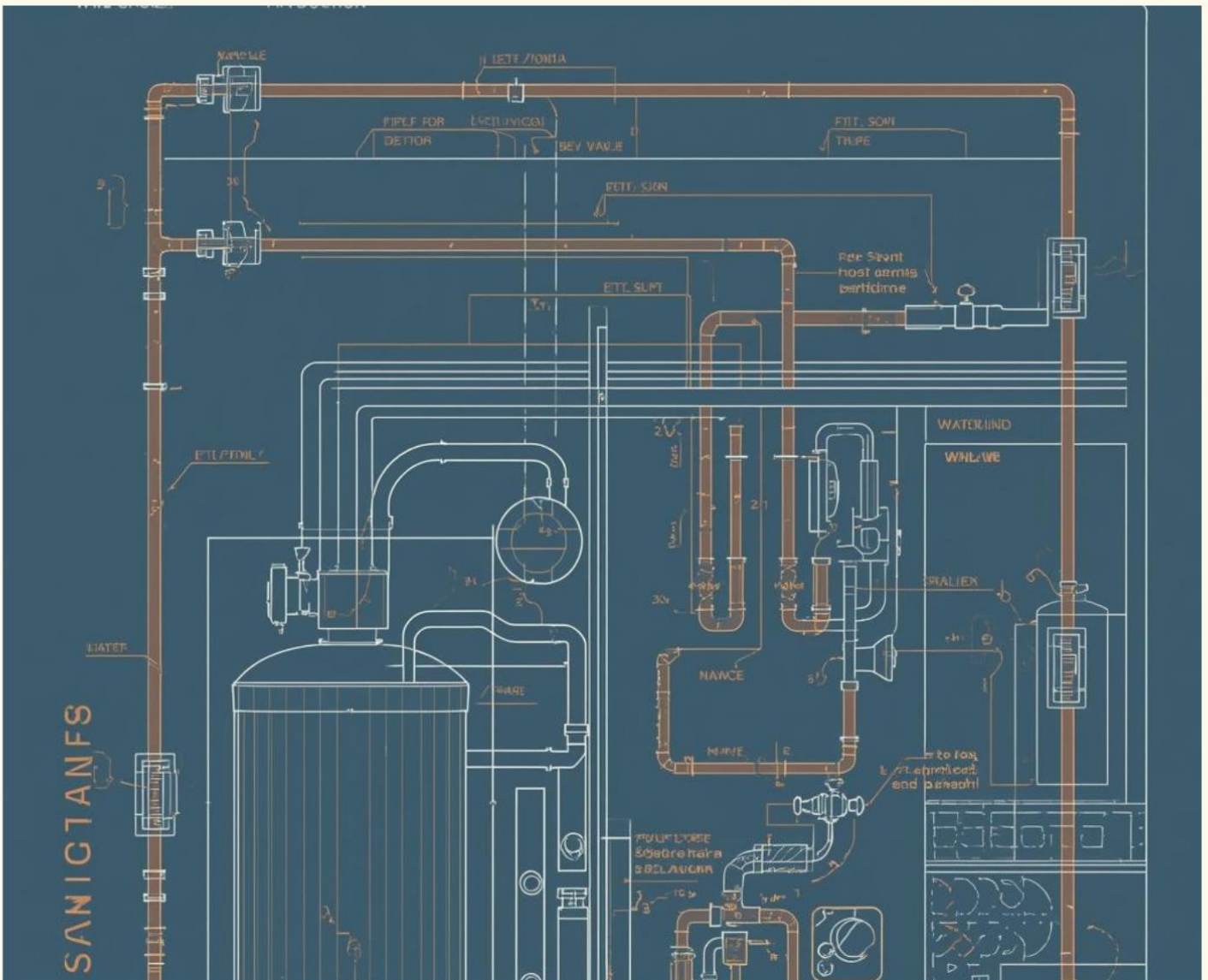
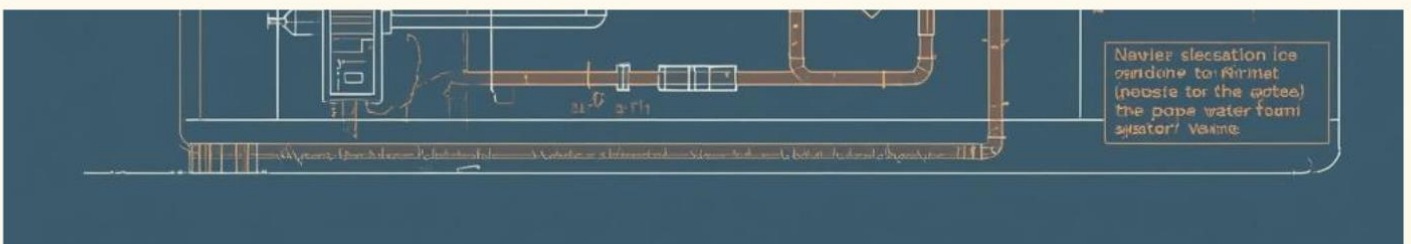


EDGAR GUSTAVO SPARROW ALAMO - LUIS CARLOS CALDERÓN RODRÍGUEZ - JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS -
SHARON TATIANA ASECIO MEJIA - JOEL ALEJANDRO QUEZADA CASTILLO - ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA



Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de agua



Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de agua

Sparrow Alamo, Edgar Gustavo; Calderón Rodríguez, Luis Carlos; De La Torre Ostos, Juan Miguel; Asencio Mejía, Sharon Tatiana; Quezada Castillo, Joel Alejandro; Irigoin Cabrera, Ulises Octavio

© Sparrow Alamo, Edgar Gustavo; Calderón Rodríguez, Luis Carlos; De La Torre Ostos, Juan Miguel; Asencio Mejía, Sharon Tatiana; Quezada Castillo, Joel Alejandro; Irigoin Cabrera, Ulises Octavio, 2026

Primera edición (1.^a ed.): marzo, 2026

Editado por:

Editorial Mar Caribe®

www.editorialmarcaribe.es

Av. Gral. Flores 547, 70000 Col. del Sacramento, Departamento de Colonia, Uruguay.

Diseño de carátula e ilustraciones: *Luisa Fernanda Lugo Rojas*

Libro electrónico disponible en:

<https://editorialmarcaribe.es/ark:/10951/isbn.9789915698847>

Formato: Electrónico

ISBN: 978-9915-698-84-7

ARK: [ark:/10951/isbn.9789915698847](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:org:ark:10951-isbn.9789915698847)

[Editorial Mar Caribe \(OASPA\)](#): Como miembro de la Open Access Scholarly Publishing Association, apoyamos el acceso abierto de acuerdo con el código de conducta, la transparencia y las mejores prácticas de OASPA para la publicación de libros académicos y de investigación. Estamos comprometidos con los más altos estándares editoriales en ética y deontología, bajo la premisa de «Ciencia Abierta en América Latina y el Caribe»

OASPA

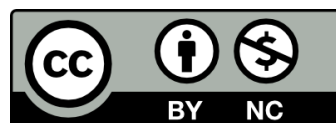
Editorial Mar Caribe, firmante N° 795 de 12.08.2024 de la [Declaración de Berlín](#)

"... Nos sentimos obligados a abordar los retos de Internet como un medio funcional emergente para la distribución del conocimiento. Obviamente, estos avances pueden modificar significativamente la naturaleza de la publicación científica, así como el actual sistema de garantía de calidad...." (Max Planck Society, ed. 2003, pp. 152-153).



[CC BY-NC 4.0](#)

Los autores pueden autorizar al público en general a reutilizar sus obras únicamente con fines no lucrativos, los lectores pueden utilizar una obra para generar otra, siempre que se dé crédito a la investigación, y conceden al editor el derecho a publicar primero su ensayo bajo los términos de la licencia CC BY-NC 4.0.



Editorial Mar Caribe se adhiere a la "Recomendación relativa a la preservación del patrimonio documental, comprendido el patrimonio digital, y el acceso al mismo" de la UNESCO y a la Norma Internacional de referencia para un sistema abierto de información archivística ([OAIS-ISO 14721](#)). Este libro está preservado digitalmente por [ARAMEO.NET](#)

ARAMEO.NET

Editorial Mar Caribe

**Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de
agua**

Colonia, Uruguay

2026

Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de agua

Índice

Introducción	10
Capítulo 1	13
Ingeniería y gestión técnica de sistemas indirectos de agua potable en edificaciones contemporáneas	13
Fundamentos conceptuales y evolución del abastecimiento indirecto	14
Marco normativo y requisitos técnicos de diseño en el Perú	17
Ingeniería de almacenamiento: Cisternas y Tanques Elevados	19
Diseño hidráulico: El método de los gastos probables (Hunter)	20
Ingeniería de bombeo e impulsión: El corazón del sistema	23
Cálculo de la Altura Dinámica Total (<i>HDT</i>)	23
Configuración y seguridad de la línea de impulsión	24
Sistemas de presión constante vs. Sistemas hidroneumáticos	25
Dinámica del Sistema Hidroneumático Convencional	25
El paradigma de la Presión Constante con Variadores (VFD)	26
Consideraciones constructivas y coordinación interdisciplinaria	27
Integración arquitectónica y estructural	28
Detalles de hermeticidad y protección sanitaria	28
Protocolos de higiene, desinfección y mantenimiento preventivo	29
Procedimiento estándar de limpieza y desinfección	31
Requisitos administrativos y gestión ante la entidad prestadora	32
El proceso de factibilidad y aprobación de proyectos	32
Análisis de costos y sostenibilidad en sistemas indirectos	33
El futuro: Digitalización y Monitoreo Remoto	34
Capítulo 2	36
Análisis Técnico de los Modelos Clásico, Hidroneumático y de Presión Constante	36
Fundamentos Conceptuales y Justificación Técnica	37
El Sistema Indirecto Clásico: El Modelo de Gravedad	39

Dimensionamiento y Normativa del Almacenamiento	39
Consideraciones de Diseño Estructura y Ubicación	40
Sistemas Hidroneumáticos: Presurización por Aire Comprimido	40
Ciclos de Operación y Control.....	41
Componentes de un Sistema Hidroneumático Eficiente	41
Sistemas de Presión Constante con Variadores de Frecuencia	42
Ventajas Operacionales y Confort Acústico	43
Ingeniería de Detalle y Dimensionamiento Hidráulico	44
Método de Hunter y Unidades de Gasto	44
Cálculo de la Carga Dinámica Total (CDT).....	45
Especificaciones de Instalación y Entorno Operativo	46
El Cuarto de Bombas: Requerimientos Físicos	46
Alternancia y Redundancia	47
Mantenimiento Preventivo y Gestión del Ciclo de Vida.....	47
Prospectiva 2025: Sostenibilidad y Digitalización en el Perú	48
BIM y Gemelos Digitales	49
Gestión Inteligente del Agua e IoT	49
Edificaciones Resilientes y Reutilización de Aguas Grises.....	49
Análisis de Costos y Retorno de Inversión	50
Capítulo 3	53
Análisis integral de la problemática en el diseño y gestión de instalaciones sanitarias de sistemas indirectos en edificaciones multifamiliares.....	53
Contexto global y regional del estrés hídrico en sistemas urbanos.....	53
Fundamentos técnicos y tipologías de los sistemas indirectos	55
Evolución de los sistemas de almacenamiento y bombeo	56
Componentes críticos de la red sanitaria	56
La problemática normativa en el Perú: El caso de la Norma IS.010	57
Ambigüedades y obsolescencia tecnológica	57
El debate sobre las dotaciones y el sobredimensionamiento.....	58
Patologías sanitarias y microbiología del agua almacenada	59

La formación de biopelículas (Biofilm)	59
Fallas en la hermeticidad y protección sanitaria	61
Eficiencia energética y optimización de sistemas de bombeo	61
Variadores de frecuencia vs. Sistemas convencionales.....	61
El problema del sobredimensionamiento electromecánico	62
Impacto de la construcción sostenible y certificaciones internacionales....	63
Estrategias de ahorro hídrico	63
Patologías comunes y fallas en la ejecución de obra	64
Errores críticos en la instalación hidráulica	64
El riesgo de las conexiones cruzadas	65
Gestión operativa y mantenimiento: El rol de la administración	66
Protocolos de mantenimiento preventivo.....	66
Consecuencias legales y económicas del descuido	66
Conclusiones y recomendaciones para la investigación sanitaria	67
Capítulo 4	69
Tratado Técnico-Normativo sobre el Cálculo de Dotación, Almacenamiento y Diseño de Sistemas Indirectos de Agua Potable.....	69
Fundamentos del Sistema Indirecto y el Marco Regulatorio de la Norma I.S. 010	69
Determinación Analítica de la Dotación Diaria de Agua.....	70
Instituciones Educativas y Salud	74
Industrias y Servicios Especiales	75
Dimensionamiento Estructural de Cisternas y Tanques Elevados.....	76
Proporciones Volumétricas y Capacidades Mínimas	76
Geometría y Criterios Constructivos.....	77
Dinámica del Sistema de Bombeo: Succión e Impulsión	78
Caudal de Bombeo (Q_b) y Tiempos de Llenado	78
Cálculo de la Altura Dinámica Total (HDT) y Potencia	80
Diseño Hidráulico de la Red de Distribución Interna	81
El Método de Hunter (Gastos Probables)	81

Parámetros de Velocidad y Presión en la Red	83
Accesorios Críticos y Seguridad Sanitaria de los Depósitos.....	84
Sistema de Ventilación y Control de Rebose.....	84
Dispositivos de Control de Nivel.....	86
Materiales y Estructuralidad: Concreto vs. Prefabricados.....	86
Mantenimiento y Operatividad del Sistema	87
Perspectiva de Sostenibilidad y Futuro del Diseño Sanitario	87
Capítulo 5	89
Estándares de calidad ambiental y marcos normativos para sistemas indirectos de abastecimiento de agua en el Perú	89
Evolución y marco legal de la gestión de la calidad del agua	90
Caracterización técnica de los sistemas indirectos de abastecimiento.....	92
Componentes y diseño según la Norma IS.010.....	92
El riesgo de la contaminación en el almacenamiento.....	93
Estándares de calidad ambiental para agua de consumo y su aplicación ..	94
Parámetros físico-químicos y organolépticos	95
Protocolos de mantenimiento y desinfección de depósitos	96
Frecuencia y bases legales del saneamiento	97
Procedimiento técnico para la desinfección efectiva.....	97
Estándares de calidad para el reúso de agua y ECA Categoría 3	98
Subcategoría D1: Riego de Vegetales.....	98
Requisitos para sistemas de agua duales.....	100
Vigilancia epidemiológica y control de riesgos sanitarios.....	100
Puntos Críticos de Control (PCC) en edificios.....	101
La importancia de la tecnología en la vigilancia	101
Implicancias socioeconómicas del cumplimiento de los estándares	102
Impacto en la infraestructura y costos operativos.....	102
Responsabilidad legal y sanciones	103
Gradualidad y adaptación de los ECA.....	103
Capítulo 6	106

Evolución, Aplicación y Prospectiva del Método de los Gastos Probables de Roy B. Hunter	106
Fundamentos Históricos y la Ruptura del Paradigma Determinista	107
El Legado del Reporte BMS 79	108
Arquitectura Estadística del Método de Hunter	108
Simplificación mediante Unidades de Gasto	109
La Aplicación Normativa: El Caso de la Norma IS.010 en Perú	110
Consideraciones Hidráulicas en el Dimensionamiento de Tuberías	113
Dinámica de Velocidades y Presiones	114
Cálculo de Pérdidas de Carga	115
Comparativa con Métodos Alternativos de Diseño	116
El Método de la Raíz Cuadrada y Coeficientes de Simultaneidad	116
Métodos Estocásticos Modernos y el Water Demand Calculator (WDC)	117
El Desafío del Sobredimensionamiento y la Sostenibilidad	117
Impacto en la Calidad del Agua	118
Costos y Huella de Carbono	118
Procedimiento de Cálculo Paso a Paso para una Red Hidráulica	118
Fase 1: Recopilación de Información Arquitectónica	119
Fase 2: Metrado de Unidades de Gasto	119
Fase 3: Determinación del Caudal de Diseño	119
Fase 4: Selección de Diámetros y Verificación de Velocidad	120
Fase 5: Balance de Presiones	120
Sistemas de Almacenamiento y Regulación	120
Dotación Diaria y Volumen de Reserva	120
Diseño de Cisternas y Tanques Elevados	121
Redes de Agua Caliente y Sistemas de Retorno	121
Dotación de Agua Caliente	122
Distribución y Recirculación	122
Futuro del Diseño Hidráulico: Hacia la Digitalización y la IA	122
Integración con BIM y Revit	122

Sensores y Análisis de Datos en Tiempo Real	123
Síntesis de la Aplicación del Método Hunter en la Ingeniería Civil.....	123
Conclusión	125
Bibliografía	127

Introducción

La ingeniería de las instalaciones sanitarias constituye uno de los pilares fundamentales en la habitabilidad de las edificaciones contemporáneas, garantizando no solo el suministro de un recurso vital en términos de cantidad y calidad, sino también la preservación de la salud pública y la integridad estructural de las obras civiles. En el contexto del diseño hidráulico para edificaciones, el sistema de abastecimiento indirecto surge como la respuesta técnica primordial ante la insuficiencia de presión o la discontinuidad en el servicio de las redes públicas de agua potable, fenómenos comunes en las metrópolis de crecimiento acelerado.

Este paradigma de diseño, que interpone estructuras de almacenamiento y equipos de bombeo entre la red externa y los puntos de consumo internos, requiere un análisis exhaustivo que abarque desde sus precedentes históricos hasta las innovaciones tecnológicas en eficiencia energética y sostenibilidad que definen el siglo XXI.

El desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua ha sido, a lo largo de la historia, un reflejo del progreso tecnológico y de la comprensión de la higiene por parte de las sociedades. Desde que el hombre dejó de ser cazador-recolector para establecerse cerca de lagos y ríos, la gestión del agua se convirtió en un desafío de ingeniería. Las civilizaciones del Valle del Indo, ya en el tercer milenio a. de C., implementaban pozos con paredes de ladrillo para asegurar la higiene, mientras que los griegos y romanos perfeccionaron la arquitectura de redes de distribución mediante acueductos y sistemas de presión atmosférica.

En el caso específico de Lima, Perú, la respuesta sanitaria ha

evolucionado desde la época virreinal, donde el crecimiento desmedido de la población y el deficiente sistema de acequias generaron focos contaminantes críticos. Durante el siglo XIX, bajo la influencia de figuras como Hipólito Unanue y la bonanza económica de la era del guano, se introdujeron mejoras sustanciales en la infraestructura. Un hito fundamental ocurrió en 1856, cuando las instalaciones de fierro reemplazaron a las cañerías de arcilla, lo que incrementó drásticamente el consumo doméstico al permitir mayores presiones en el interior de las viviendas. La creación de "triángulos de salud" compuestos por hospitales como San Andrés, Santa Ana y San Bartolomé fue fundamental para establecer los primeros estándares de ventilación y suministro de agua fría y caliente en ambientes de internación.

En este libro se abre el debate sobre la elección de un sistema de abastecimiento que depende de factores variables como la presión en la red pública, la altura del edificio y la demanda máxima probable. El sistema indirecto es imperativo cuando la presión municipal no garantiza el servicio continuo en los puntos más altos o alejados de la edificación.

Este sistema, predominante en edificaciones de departamentos, opera mediante un tanque cisterna (subterráneo o superficial) que almacena el agua proveniente de la red pública. El agua es impulsada por bombas hacia un tanque elevado situado en la azotea, desde donde desciende por gravedad para abastecer los aparatos sanitarios. Según la Norma IS.010, este sistema garantiza una reserva de agua ante interrupciones del servicio y mantiene presiones constantes y razonables en cualquier punto de la red interna. Sin embargo, impone una carga estructural significativa en la parte superior del edificio y requiere un mantenimiento riguroso de los controles de nivel para evitar desbordamientos o cavitación en las bombas.

Los autores disciernen a lo largo de los seis capítulos que componen este libro sobre el diseño de las instalaciones interiores en Perú, regulado por la Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Esta normativa establece los requisitos mínimos para el cálculo de dotaciones, diámetros y velocidades, asegurando que el agua suministrada no se deteriore en las tuberías y que el sistema sea capaz de responder ante emergencias como incendios.

Capítulo 1

Ingeniería y gestión técnica de sistemas indirectos de agua potable en edificaciones contemporáneas

El diseño y la implementación de sistemas de abastecimiento de agua en entornos urbanos densificados representan uno de los desafíos más complejos de la ingeniería sanitaria moderna. En ciudades donde el crecimiento vertical supera la capacidad de respuesta inmediata de las redes de infraestructura pública, el sistema indirecto emerge no solo como una solución técnica, sino como una necesidad imperativa para garantizar la habitabilidad y la seguridad sanitaria. El sistema indirecto se define por la interposición de elementos de almacenamiento y regulación entre la red de distribución pública y los puntos de consumo final, permitiendo una independencia operativa respecto a las fluctuaciones de presión y caudal de la matriz urbana.

Este capítulo técnico analiza con profundidad las dimensiones normativas, hidráulicas, mecánicas y operativas de estos sistemas, centrándose en el marco legal peruano definido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y la Norma Técnica IS.010, así como en las mejores prácticas de la industria para la gestión de servicios de agua potable en edificaciones multifamiliares, comerciales e industriales (Pedroza, 2018).

Fundamentos conceptuales y evolución del abastecimiento indirecto

La transición de sistemas de abastecimiento directo a indirectos responde a una lógica de eficiencia y seguridad. Mientras que el sistema directo depende exclusivamente de la presión estática y dinámica de la red pública para alcanzar los aparatos sanitarios más elevados, el sistema indirecto introduce una ruptura de presión que permite almacenar energía en forma de energía potencial (en tanques elevados) o energía de presión (en sistemas hidroneumáticos). Esta arquitectura es fundamental en escenarios donde la presión de servicio público es insuficiente para superar las pérdidas de carga por fricción y la altura geométrica de edificios que superan los tres niveles (Malacalza, 2013).

La evolución tecnológica ha permitido que estos sistemas pasen de simples depósitos de gravedad a complejas redes inteligentes capaces de monitorizar el consumo y ajustar la presión mediante variadores de frecuencia. Sin embargo, el principio fundamental de garantizar un volumen de reserva ante la interrupción del servicio externo permanece inalterado. El almacenamiento no solo regula el flujo, sino que actúa como un amortiguador ante contingencias operativas de la entidad prestadora de servicios de saneamiento (EPS), asegurando que las actividades críticas de la edificación no se vean comprometidas.

La selección de la tipología adecuada de un sistema indirecto es una decisión de ingeniería que debe sopesar factores como la altura de la edificación, el costo de energía, el espacio disponible y la carga estructural

permitida (véase la Tabla 1) (Ministerio de Vivienda, Saneamiento y Construcción, 2004).

Tabla 1: Taxonomía de los sistemas de abastecimiento de agua

Clasificación del Sistema	Componentes Clave	Mecanismo de Funcionamiento	Ventaja Principal
Indirecto por Gravedad	Tanque elevado	El agua se almacena en el punto más alto y se distribuye por peso propio.	Simplicidad operativa y funcionamiento sin energía eléctrica en el consumo.
Cisterna y Tanque Elevado	Cisterna, electrobomba y tanque elevado	Combinación que asegura reserva en el nivel inferior y presión por gravedad en el superior.	Máxima seguridad de suministro y reserva ante cortes de red pública.
Hidroneumático	Cisterna, bomba y tanque de presión	Utiliza aire comprimido en un tanque de presión para impulsar el	Presión constante en todos los niveles sin requerir peso en la azotea.

		agua.	
Presión Constante	Cisterna y bombas con variadores (VFD)	Las bombas ajustan su velocidad según la demanda real detectada por sensores.	Alta eficiencia energética y confort superior en la presión de salida.
Sistema Mixto	Red pública + Reservorios	Los primeros pisos se alimentan directamente; los superiores mediante almacenamiento.	Optimización de costos operativos al aprovechar la presión de la red pública.

La elección de un sistema mixto es particularmente relevante en edificaciones multifamiliares de mediana altura, donde los niveles inferiores pueden aprovechar la presión mínima garantizada por la EPS, reservando el sistema de bombeo exclusivamente para las unidades inmobiliarias situadas por encima de la línea de presión crítica.

Marco normativo y requisitos técnicos de diseño en el Perú

En el contexto peruano, la Norma IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones constituye el estándar técnico de cumplimiento obligatorio para todo proyecto de ingeniería sanitaria. Esta norma establece los criterios para el cálculo de dotaciones, volúmenes de almacenamiento, diámetros de tubería y especificaciones de los equipos de bombeo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012). La supervisión de estos criterios recae habitualmente en ingenieros sanitarios colegiados, quienes deben visar los proyectos para su aprobación municipal y ante entidades como SEDAPAL.

El diseño de un sistema indirecto comienza con la cuantificación precisa de la demanda de agua. La dotación diaria (DD) no es un valor arbitrario, sino el resultado de un análisis del uso del suelo y la densidad poblacional prevista (Ministerio de Salud, 2011). La Norma IS.010 proporciona tablas detalladas que asignan consumos mínimos por tipo de edificación, asegurando que el sistema sea capaz de satisfacer las necesidades biológicas y funcionales de los ocupantes (véase la Tabla 2)

Tabla 2: Determinación de dotaciones y consumos diarios

Uso de la Edificación	Criterio de Cálculo	Dotación Normativa
Viviendas Unifamiliares	Área total del lote (m^2)	Desde 1,500 L/d (hasta 200 m^2) hasta 5,000 L/d

		(más de 3,000 m^2).
Edificios Multifamiliares	Número de dormitorios por departamento	1 dorm: 500 L; 2 dorm: 850 L; 3 dorm: 1,200 L; 4 dorm: 1,350 L.
Oficinas	Área útil del local (m^2)	6 L/d por cada m^2 de área útil.
Locales Comerciales	Área útil del local (m^2)	6 L/d por cada m^2 de área útil (mínimo 500 L/d).
Hospitales y Clínicas	Número de camas / Consultorios	800 L/d por cama; 500 L/d por consultorio.
Educación Primaria	Alumnos y personal	20 L/d por persona (residente/externo varía).
Restaurantes	Área de comedor (m^2) / Asientos	50 L/d por asiento o según área útil.
Riego de Jardines	Superficie de áreas verdes (m^2)	2 L/d por cada m^2 de jardín.

Es imperativo que el proyectista identifique todos los usos concurrentes en una edificación. Por ejemplo, en un edificio de uso mixto con locales

comerciales en el primer piso, oficinas en el segundo y departamentos en los niveles superiores, la dotación total será la suma algebraica de cada componente, incluyendo el riego de áreas verdes y el agua necesaria para el sistema contra incendios.

Ingeniería de almacenamiento: Cisternas y Tanques Elevados

El almacenamiento en un sistema indirecto cumple una función de regulación horaria. Dado que la red pública entrega agua a un caudal constante (idealmente), pero el consumo en el edificio presenta picos (mañana y noche), los reservorios acumulan agua durante las horas de baja demanda para entregarla durante los periodos de máximo consumo (Ministerio de Salud, 2011).

El dimensionamiento de estos depósitos se rige por proporciones críticas definidas en la Norma IS.010 para evitar tanto el déficit como el sobredimensionamiento, lo cual podría derivar en problemas de estancamiento y pérdida de calidad del agua (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

1. **Capacidad de la Cisterna:** Cuando se utiliza un sistema combinado de cisterna y tanque elevado, el volumen útil de la cisterna no debe ser menor a las tres cuartas partes (3/4) de la dotación diaria total ($V_c \geq 0.75 \times DD$).
2. **Capacidad del Tanque Elevado:** El volumen útil del tanque elevado no debe ser menor a un tercio (1/3) de la dotación diaria total ($V_{te} \geq 0.33 \times DD$).

3. **Capacidad Total de Almacenamiento:** En conjunto, el sistema debe garantizar un almacenamiento que no sea inferior a la dotación diaria completa. Si solo se opta por un tanque elevado (sin cisterna), este debe ser igual al 100% de la dotación diaria.

El diseño geométrico de la cisterna debe considerar una relación entre largo y ancho de 1:2 o 1:2.5 para favorecer una circulación adecuada del agua y facilitar las labores de limpieza. Además, se debe prever una altura libre entre el nivel máximo de agua y el techo de la cisterna (mínimo 0.40 m o 0.45 m según el diseño) para la instalación de válvulas de flotador y ventilación.

Diseño hidráulico: El método de los gastos probables (Hunter)

La infraestructura de distribución interna no debe dimensionarse para la carga total simultánea, ya que la probabilidad de que todos los aparatos sanitarios se utilicen al mismo tiempo es estadísticamente nula. Para optimizar los diámetros de tubería y mantener presiones operativas, se utiliza el Método de Hunter, que asigna Unidades de Gasto (UG) a cada aparato basándose en la frecuencia y duración de su uso típico (Mera y Benavides, 2025).

El proceso de cálculo hidráulico implica la suma de las UG en cada tramo de la red, desde los puntos más alejados hasta el alimentador principal. La conversión de UG a gasto (caudal en litros por segundo) se realiza mediante tablas probabilísticas que distinguen entre aparatos de tanque y aparatos de válvula (fluxómetros) (véase la Tabla 3).

Tabla 3: Cálculo de la Demanda Máxima Simultánea (MDS)

Aparato Sanitario	Uso Privado (UG)	Uso Público (UG)	Trampa Mínima (mm)
Inodoro con tanque	3	5	75 (3")
Inodoro con válvula	6	8	75 (3")
Lavatorio	0.75	1.5	32 (1 1/4")
Ducha	1.5	3	50 (2")
Lavadero de cocina	2	3	50 (2")
Bebedero	-	1	25 (1")

El caudal resultante se utiliza para determinar los diámetros mediante la ecuación de continuidad, respetando siempre las velocidades máximas permisibles por la norma IS.010 para evitar ruidos molestos, vibraciones y el desgaste prematuro por erosión (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012). El cálculo debe asegurar que el aparato más desfavorable

(normalmente el más alto o alejado del tanque elevado) reciba una presión mínima de 2.00 metros de columna de agua (*m.c.a.*).

La Norma IS.010 establece límites estrictos de velocidad según el diámetro nominal de la tubería para equilibrar la pérdida de carga y la integridad del material (véase la Tabla 4).

Tabla 4: Parámetros de velocidad en tuberías de distribución

Diámetro Nominal (mm)	Velocidad Mínima (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)
15 (1/2")	0.60	1.90
20 (3/4")	0.60	2.20
25 (1")	0.60	2.48
32 (1 1/4")	0.60	2.85
40 (1 1/2") y mayores	0.60	3.00

La velocidad mínima de 0.60m/s es fundamental para garantizar el arrastre de partículas y evitar la sedimentación en tramos horizontales, lo cual podría fomentar la formación de biofilms y la proliferación de bacterias como la *Legionella*.

Ingeniería de bombeo e impulsión: El corazón del sistema

En un sistema indirecto que requiere elevación, la electrobomba es el componente crítico. Su diseño no solo debe considerar la capacidad de caudal, sino también la resistencia a las condiciones de operación y la eficiencia energética. Según la Norma IS.010, la capacidad de los equipos de bombeo debe ser tal que permita llenar el tanque elevado en un tiempo máximo de 2 horas, o ser equivalente a la Demanda Máxima Simultánea de la edificación (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

Cálculo de la Altura Dinámica Total (H_{DT})

Para seleccionar la bomba adecuada, el ingeniero debe calcular la H_{DT} , que representa la energía total requerida para trasladar el agua desde el nivel más bajo de la cisterna hasta el ingreso al tanque elevado. La fórmula matemática para este cálculo es:

$$H_{DT} = H_g + H_{fl} + P_s$$

Donde:

- H_g (Altura Geométrica): La diferencia de cota vertical entre los niveles de succión y descarga.
- H_{fl} (Pérdida por Fricción): La resistencia al flujo causada por la rugosidad de las tuberías y la turbulencia en accesorios (codos, válvulas, tees). Se calcula habitualmente mediante la fórmula de Hazen-Williams.

- P_s (Presión de Salida): La presión residual requerida en el punto de entrega (típicamente de 2 a 4 *m.c.a.* para evitar salpicaduras excesivas en el llenado del tanque).

La potencia de la bomba (P_b) se deriva entonces del caudal de bombeo (Q_b) y la eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba (η):

$$P_b = \frac{HDT \times Q_b}{75 \times \eta}$$

Es una práctica estándar en la ingeniería sanitaria nacional aplicar un factor de corrección del 15% al 20% sobre la potencia calculada para absorber posibles variaciones en el rendimiento del equipo a lo largo de su vida útil.

Configuración y seguridad de la línea de impulsión

La línea de impulsión debe estar equipada con accesorios específicos para proteger la integridad del sistema contra fenómenos hidráulicos transitorios como el "golpe de ariete".

1. **Válvula de Retención (Check):** Instalada inmediatamente después de la bomba para evitar el retroceso de la columna de agua al detenerse el motor, lo que podría dañar el rodete.
2. **Válvula de Interrupción (Compuerta o Esférica):** Permite aislar la bomba para labores de mantenimiento sin necesidad de vaciar la columna de agua.
3. **Uniones Universales:** Facilitan el montaje y desmontaje rápido del equipo.

4. **Cámara de Aire / Amortiguadores:** En sistemas de gran altura, se instalan dispositivos para disipar la energía de las ondas de presión durante el arranque y parada.

Salvo en viviendas unifamiliares, el RNE exige un mínimo de dos equipos de bombeo que funcionen de manera alternada. Este esquema de redundancia asegura que la edificación nunca quede desabastecida por una falla mecánica singular.

Sistemas de presión constante vs. Sistemas hidroneumáticos

La evolución de la electrónica de potencia ha transformado el diseño de los sistemas indirectos, permitiendo la eliminación del tanque elevado en muchos edificios modernos a favor de sistemas de presurización directa desde la cisterna. Esta decisión tiene profundas implicaciones estructurales y operativas.

Dinámica del Sistema Hidroneumático Convencional

El sistema hidroneumático tradicional utiliza un tanque presurizado con un colchón de aire o una membrana de caucho. La bomba inyecta agua en el tanque, comprimiendo el aire hasta alcanzar una presión de corte (P_{max}). Cuando hay demanda, el aire se expande, impulsando el agua hacia la red hasta que la presión cae al nivel de arranque (P_{min}).

- **Ventajas:** Proporciona una presión superior a la gravedad en los últimos pisos; evita estructuras pesadas en azoteas.

- **Desventajas:** La presión fluctúa entre los límites del presostato; requiere mantenimiento del colchón de aire; mayor consumo eléctrico por arranques frecuentes.

El paradigma de la Presión Constante con Variadores (VFD)

A diferencia del hidroneumático, el sistema de presión constante no depende de un diferencial de presión para operar. Utiliza un transductor de presión que envía una señal continua a un variador de frecuencia (VFD). Este último ajusta la velocidad de rotación del motor de la bomba para que la presión en la red permanezca exactamente en el valor de consigna (set-point), sin importar cuántos grifos se abran simultáneamente (Véase la Tabla 5).

- **Eficiencia Energética:** Al reducir la velocidad del motor cuando la demanda es baja, el ahorro de electricidad es significativo (las leyes de afinidad de las bombas indican que la potencia consumida varía con el cubo de la velocidad).
- **Confort y Durabilidad:** La presión es estable, eliminando variaciones de temperatura en duchas; el arranque suave reduce el estrés mecánico en tuberías y juntas.

Tabla 5: Criterio de comparación entre hidroneumático, presión constante y tanque elevado

Criterio de Comparación	Hidroneumático	Presión Constante	Tanque Elevado
Estabilidad de	Moderada	Excelente (fija)	Alta (pero baja en

Presión	(fluctúa)		pisos altos)
Costo Inicial	Moderado	Elevado	Moderado/Alto (estructural)
Consumo Eléctrico	Alto	Bajo/Optimizado	Bajo (solo elevación)
Espacio Requerido	Moderado	Mínimo	Elevado (en azotea)
Reserva ante Apagón	Nula o muy baja	Nula	Alta (gravedad)

La vulnerabilidad de los sistemas presurizados ante cortes de energía eléctrica es su principal debilidad frente al tanque elevado tradicional. En edificaciones críticas (hospitales, hoteles de lujo), se hace indispensable la conexión del sistema de presión constante a un grupo electrógeno de respaldo.

Consideraciones constructivas y coordinación interdisciplinaria

El diseño de instalaciones sanitarias de sistema indirecto no puede realizarse de forma aislada. Requiere una coordinación estrecha entre el ingeniero sanitario, el arquitecto y el ingeniero estructural. La ubicación de las

cisternas y tanques elevados impacta directamente en la cimentación y en el diseño de vigas y columnas debido a las cargas muertas significativas que representan (un metro cúbico de agua equivale a una tonelada de peso) (Ministerio de Salud, 2011).

Integración arquitectónica y estructural

Las cisternas suelen ubicarse en niveles de sótano, patios de servicio o bajo cajas de escaleras para optimizar el espacio. Sin embargo, la Norma IS.010 prohíbe la instalación de cisternas directamente debajo de dormitorios o áreas de descanso debido al ruido y vibraciones de las bombas, a menos que se utilicen sistemas de aislamiento acústico y bases antivibratorias de alta eficiencia (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

- **Ductos y Espacios Técnicos:** Se deben prever ductos verticales (montantes) con dimensiones suficientes para alojar no solo las tuberías de agua, sino también las de desagüe y ventilación, respetando una separación mínima de **0.20m** entre ellas para prevenir contaminaciones accidentales por filtraciones.
- **Instalación en Losas:** Es una práctica común embeber las tuberías de agua en el contrapiso y las de desagüe en las losas aligeradas, aunque en edificaciones modernas se prefiere el uso de cielos rasos desmontables para facilitar el acceso a válvulas y reparaciones sin afectar la estructura.

Detalles de hermeticidad y protección sanitaria

La integridad de los depósitos de agua es el primer baluarte contra enfermedades de origen hídrico. Las cisternas y tanques elevados deben ser contruidos en concreto armado con aditivos impermeabilizantes, y sus caras

internas deben estar revestidas con materiales lisos que no desprendan partículas.

1. **Tapas Sanitarias:** Deben ser de material no corrosible (acero inoxidable o aluminio), con un reborde que sobresalga de la base para evitar que el agua de limpieza del piso ingrese al depósito.
2. **Tubos de Rebose:** Son fundamentales para evitar el desbordamiento en caso de falla de la válvula de llenado. El diámetro del rebose debe ser superior al de la entrada de agua para garantizar que pueda evacuar el flujo máximo bajo presión. La descarga del rebose debe ser indirecta (con una brecha de aire de al menos dos diámetros) hacia un sumidero o desagüe para evitar que gases de la alcantarilla retornen al tanque.
3. **Canastilla de Succión:** Situada en la parte inferior de la cisterna, debe estar elevada al menos $0.10m$ a $0.15m$ del fondo para evitar la succión de sedimentos acumulados.

Protocolos de higiene, desinfección y mantenimiento preventivo

La seguridad sanitaria del agua en un sistema indirecto es una responsabilidad compartida entre la administración del edificio y las autoridades de salud. El estancamiento del agua en reservorios de gran volumen puede provocar la disipación del cloro residual, convirtiendo los tanques en focos de proliferación microbiológica. El Ministerio de Salud de Perú (MINSA) y DIGESA establecen directivas estrictas sobre la frecuencia y calidad de la limpieza de estos sistemas.

En edificaciones de uso masivo, como hospitales (IPRESS) o mercados, se deben realizar monitoreos diarios de cloro residual libre, turbiedad y pH. El valor normativo del cloro residual en los grifos debe ser mayor o igual a 0.5mg/L para garantizar la inactivación de bacterias y virus (véase la Tabla 6).

Tabla 6: Vigilancia de la calidad del agua

Parámetro de Calidad	Valor Límite Permisible	Frecuencia de Monitoreo
Cloro Residual Libre	$\geq$	Diario (en puntos críticos).
Turbiedad	$<$	Diario o ante cambios visuales.
pH	6.5 a 8.5	Semanal o ante ajustes de cloro.
Análisis Microbiológico	Ausencia de Coliformes/E. coli	Semestral o tras desinfección.

Si el cloro residual desciende por debajo del límite, es necesaria una recloración *in situ* del reservorio utilizando soluciones de hipoclorito de calcio o sodio calculadas para alcanzar la concentración deseada sin generar subproductos nocivos.

Procedimiento estándar de limpieza y desinfección

La limpieza de cisternas y tanques elevados debe realizarse cada seis meses por empresas de saneamiento ambiental autorizadas, quienes deben emitir un certificado de operatividad técnica (Comisión Nacional del Agua, 2015).

1. **Preparación:** Cierre de válvulas de ingreso y agotamiento del agua existente (dejando un nivel mínimo para la limpieza inicial). Se debe asegurar la ventilación del espacio confinado y el uso de equipo de protección personal (EPP) adecuado.
2. **Lavado Mecánico:** Remoción de lodos y sedimentos del fondo mediante aspiración o bombeo. Cepillado de paredes con soluciones detergentes no tóxicas y enjuague a presión.
3. **Desinfección de Choque:** Aplicación de una solución clorada con una concentración de *50ppm* a *100ppm* sobre todas las superficies internas. Este "choque" elimina biopelículas resistentes que no salen con el simple cepillado.
4. **Neutralización y Enjuague Final:** Tras un tiempo de contacto de al menos 4 a 6 horas, se enjuaga el depósito y se drena el agua con alta concentración de cloro. Se procede al llenado con agua de red y se verifica que el nivel de cloro se estabilice en los parámetros normales antes de dar servicio a la edificación.

El mantenimiento preventivo también se extiende a la parte electromecánica. Un fallo en el sello mecánico o un rodamiento desgastado en la electrobomba puede derivar en fugas de aceite o grasa que contaminen el agua potable, además de causar cortes inesperados en el suministro.

Requisitos administrativos y gestión ante la entidad prestadora

En Lima y Callao, SEDAPAL regula no solo el empalme de la conexión domiciliaria, sino que influye en el diseño de las instalaciones interiores a través del Certificado de Factibilidad de Servicios. Este documento es el primer paso para cualquier desarrollo inmobiliario y establece si las redes existentes tienen la capacidad hidráulica para soportar la carga de la nueva edificación.

El proceso de factibilidad y aprobación de proyectos

Los proyectos que requieren conexiones de diámetro superior a *15mm* deben presentar una Memoria Descriptiva y Planos de Instalaciones Sanitarias firmados por un ingeniero sanitario colegiado y habilitado. SEDAPAL revisa que el sistema indirecto propuesto no comprometa la presión de los vecinos y que cuente con dispositivos de control adecuados.

- **Estudio de Factibilidad:** Tiene un costo administrativo y un tiempo de respuesta de aproximadamente 15 a 20 días hábiles. En este estudio, SEDAPAL puede imponer "Condicionamientos Técnicos", como la necesidad de que el edificio almacene agua para compensar la baja presión en horas punta de la zona.
- **Inspección y Visación:** Una vez construido el sistema, la entidad puede realizar inspecciones para verificar que la cisterna cumpla con las distancias de seguridad respecto a las redes de desagüe y que el medidor de agua esté instalado en una caja normalizada y accesible.

La normativa también enfatiza la necesidad de medidores individuales

para cada unidad inmobiliaria en edificios multifamiliares (lectura remota o concentradores de medidores), permitiendo una gestión más equitativa del recurso y facilitando la detección de fugas internas.

Análisis de costos y sostenibilidad en sistemas indirectos

La decisión entre un sistema de tanque elevado y un sistema de presión constante no es solo técnica, sino financiera. Se deben considerar tanto los costos de inversión inicial (CAPEX) como los de operación y mantenimiento (OPEX) a lo largo de un ciclo de vida de 20 a 30 años (véase la Tabla 7).

Tabla 7: Evaluación Económica: CAPEX vs. OPEX

Elemento de Costo	Cisterna - Tanque Elevado	Presión Constante (VFD)
Inversión Inicial	Alta (Costo de concreto y refuerzo estructural).	Moderada/Alta (Costo de bombas multietapas y electrónica).
Energía Eléctrica	Baja (Las bombas trabajan a plena carga solo para llenado).	Optimizada (El variador reduce consumo según demanda).
Mantenimiento	Bajo (Limpieza de tanques y bombas sencillas).	Moderado (Requiere técnicos especializados)

		para VFD).
Vida Útil de Tuberías	Moderada (Sujeta a presiones estáticas constantes).	Alta (Arranque suave reduce fatiga del material).

La sostenibilidad en los sistemas indirectos modernos se logra mediante la integración de fuentes alternativas. Muchos edificios corporativos en Lima están implementando sistemas mixtos donde el agua de lluvia o el agua condensada de los sistemas de aire acondicionado se recolecta en una cisterna secundaria para ser utilizada en el riego de jardines o en las torres de enfriamiento, reduciendo la dependencia de la red de agua potable de la ciudad.

El futuro: Digitalización y Monitoreo Remoto

La "Ingeniería Sanitaria 4.0" está transformando los sistemas indirectos. La implementación de sensores de flujo ultrasónicos y válvulas motorizadas conectadas a sistemas BMS (Building Management Systems) permite que la administración del edificio reciba alertas en tiempo real sobre consumos anómalos, indicativos de fugas ocultas. Además, el monitoreo remoto de la calidad bacteriológica (sensores de potencial de óxido-reducción o cloro libre) permite ajustar la dosificación de desinfectante de manera automática, garantizando la seguridad sanitaria sin intervención manual constante.

El diseño de instalaciones sanitarias de sistema indirecto es una

disciplina que amalgama principios de hidráulica clásica, mecánica de fluidos, ingeniería estructural y microbiología ambiental. En un contexto de creciente escasez hídrica y urbanización acelerada, la eficiencia de estos sistemas es fundamental para la sostenibilidad de las ciudades (Pedroza, 2018).

La Norma IS.010 de Perú proporciona un marco robusto, pero el ingeniero proyectista debe ir más allá del cumplimiento reglamentario, buscando soluciones que optimicen el consumo energético y minimicen la huella hídrica de las edificaciones. El sistema de cisterna y tanque elevado seguirá siendo la opción más confiable para garantizar el suministro ante fallas eléctricas, mientras que los sistemas de presión constante con variadores de frecuencia se consolidan como el estándar para el confort y la eficiencia en la arquitectura contemporánea (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

La clave del éxito a largo plazo de estas infraestructuras reside en una construcción rigurosa que respete las distancias de seguridad sanitaria y un programa de mantenimiento preventivo que no escatime en la vigilancia de la calidad del agua, protegiendo así el activo más valioso de cualquier edificación: la salud y el bienestar de sus ocupantes.

Capítulo 2

Análisis Técnico de los Modelos Clásico, Hidroneumático y de Presión Constante

El diseño y la implementación de sistemas de abastecimiento de agua en edificaciones contemporáneas representan uno de los pilares fundamentales de la ingeniería sanitaria, garantizando no solo la habitabilidad, sino también la salud pública y la eficiencia operativa de los activos inmobiliarios (Persson et al., 1999).

En entornos urbanos de alta densidad, como las metrópolis de Lima o Arequipa, la variabilidad de la presión en la red pública y la discontinuidad del servicio obligan a los proyectistas a alejarse de los esquemas de suministro directo para adoptar sistemas indirectos robustos. Estos sistemas se definen por la intermediación de depósitos de almacenamiento entre la red externa y los puntos de consumo, permitiendo una gestión autónoma del caudal y la presión.

La transición desde el sistema indirecto clásico, basado en la energía potencial de la gravedad, hacia los sistemas de presión constante modulados por variadores de frecuencia, refleja un avance tecnológico orientado a la optimización del recurso hídrico y el ahorro energético. En este contexto, el presente reporte analiza exhaustivamente los tres tipos principales de sistemas indirectos, evaluando su funcionamiento, requerimientos normativos

bajo el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) de Perú, específicamente la norma IS.010, y las tendencias proyectadas hacia el año 2025.

Fundamentos Conceptuales y Justificación Técnica

La selección de un sistema de abastecimiento no es una decisión arbitraria; responde a un análisis de las condiciones de contorno que ofrece la infraestructura pública y las demandas específicas de la edificación. El sistema directo, aunque económico y con menor riesgo de contaminación interna, solo es viable cuando la red pública garantiza una presión mínima de salida de ² m de carga de agua en el punto más desfavorable y una continuidad de 24 horas. No obstante, la realidad operativa en muchas ciudades latinoamericanas muestra una presión decreciente que raramente supera los 20 psi (¹⁴ m.c.a.) de forma constante, lo que invalida el suministro directo para edificios de más de tres niveles.

Los sistemas indirectos surgen como la solución técnica para mitigar estas deficiencias. Su arquitectura se basa en dos funciones críticas: el almacenamiento de reserva para periodos de corte y la presurización controlada para satisfacer el confort del usuario. La ingeniería sanitaria moderna clasifica estos sistemas según el mecanismo de distribución, cada uno con implicaciones distintas en términos de costo de inversión, mantenimiento y eficiencia energética (véase la Tabla 8) (Persson et al., 2009).

Tabla 8: Sistemas según mecanismo de distribución

Atributo Técnico	Sistema Directo	Sistema Indirecto (Clásico)	Sistema Hidroneumático	Presión Constante (VFD)
Dependencia de Red	Total	Parcial (Almacenamiento)	Parcial (Almacenamiento)	Parcial (Almacenamiento)
Presión en Consumo	Variable según red	Constante por gravedad	Fluctuante (Rango)	Perfectamente Constante
Consumo Eléctrico	Nulo	Medio (Llenado de tanque)	Alto (Arranques directos)	Mínimo (Modulación)
Espacio Requerido	Mínimo	Elevado (Tanque y Cisterna)	Medio (Cisterna y Tanque P.)	Mínimo (Solo Cisterna)
Costo de Inversión	Muy Bajo	Medio	Medio	Alto

El Sistema Indirecto Clásico: El Modelo de Gravedad

El sistema convencional o clásico ha sido el estándar de la industria por décadas debido a su simplicidad mecánica y alta confiabilidad. Su esquema operativo consiste en una cisterna subterránea que recibe el agua de la red pública, un equipo de bombeo de velocidad fija y un tanque elevado ubicado en la azotea del edificio. La distribución hacia los aparatos sanitarios se realiza por gravedad, lo que asegura que, mientras exista agua en el tanque elevado, el suministro se mantendrá incluso ante un corte de energía eléctrica.

Dimensionamiento y Normativa del Almacenamiento

De acuerdo con la norma IS.010, el cálculo de las capacidades de almacenamiento es el primer paso crítico del diseño. Para un sistema combinado (cisterna y tanque elevado), se deben seguir las siguientes proporciones respecto al consumo diario total (CD):

- **Cisterna:** Su volumen no debe ser menor a las tres cuartas partes ($3/4$) del consumo diario.
- **Tanque Elevado:** Su volumen no debe ser menor a un tercio ($1/3$) del consumo diario.

Estas capacidades garantizan una reserva total de 1.08 veces el consumo diario, ofreciendo un margen de seguridad ante fluctuaciones en la red pública. Para edificaciones donde el tanque elevado es la única fuente de almacenamiento, su capacidad mínima debe ser igual al consumo diario total,

con un piso mínimo absoluto de 1,000 litros.

Consideraciones de Diseño Estructura y Ubicación

La ubicación de los depósitos debe considerar la integridad estructural y la protección de la calidad del agua. Las cisternas deben situarse a una distancia mínima de 2.00 metros de muros medianeros y de cualquier tubería de desagüe para evitar la contaminación cruzada en caso de filtraciones. El diseño de la cisterna debe contemplar una relación de ancho y largo de 1 : 2 preferiblemente, con una altura útil que no exceda los 2.50 metros en edificaciones menores de cuatro pisos para optimizar la succión de las bombas.

El tanque elevado, por su parte, debe diseñarse considerando la presión residual necesaria en el punto más desfavorable, que suele ser la ducha del piso inmediatamente inferior. Para lograr los 2 m de presión mínima exigidos por el RNE, el fondo del tanque debe estar elevado a una altura geométrica que compense las pérdidas por fricción ($\sum h_f$) y la presión residual requerida (h_r).¹

$$P_{disponible} = H_{geométrica} - \sum h_f \geq 2.00 \text{ m.c.a.}$$

Sistemas Hidroneumáticos: Presurización por Aire Comprimido

El sistema hidroneumático representa una evolución hacia la

eliminación del tanque elevado, centralizando el control de presión en la planta baja o sótano. Su funcionamiento se rige por el principio de compresibilidad del aire: el agua es bombeada hacia un tanque de presión hermético que contiene una cámara de aire o una membrana de elastómero (Herrán, 2014). A medida que el agua ingresa al tanque, reduce el volumen del aire y aumenta su presión, acumulando energía que será utilizada para impulsar el agua hacia la red cuando se abra un consumo.

Ciclos de Operación y Control

El sistema opera bajo un esquema de control de "rango diferencial". Un presostato detecta la presión interna y gestiona el arranque de la bomba al alcanzar la presión mínima (P_{min}) y su parada al llegar a la presión máxima (P_{max}).²³ Típicamente, estos rangos se configuran entre 30 – 50 psi o 40 – 60 psi para usos residenciales.

Una de las ventajas críticas de este sistema es la mejora en el funcionamiento de equipos que demandan presión estable, como fluxómetros, calentadores de paso y sistemas de riego por aspersión. No obstante, el sistema hidroneumático tradicional padece de ineficiencias energéticas debido a los arranques directos de la bomba, que consumen picos de corriente significativos y generan estrés mecánico en el motor.

Componentes de un Sistema Hidroneumático Eficiente

1. **Tanque de Presión:** El "corazón" del sistema. Los modelos modernos utilizan una membrana o vejiga (generalmente de EPDM o Butilo) que separa permanentemente el aire del agua, evitando que el aire se disuelva

y cause el fenómeno de tanque anegado.

2. **Equipo de Bombeo:** Generalmente compuesto por bombas centrífugas o multietapa que deben ser seleccionadas para cubrir la Máxima Demanda Simultánea (MDS) de la edificación.
3. **Compresor o Cargador de Aire:** En tanques de gran volumen sin membrana, se requiere un dispositivo para reponer el aire perdido por absorción.
4. **Válvulas de Seguridad:** Esenciales para aliviar sobrepresiones que podrían comprometer la integridad de las tuberías.

Sistemas de Presión Constante con Variadores de Frecuencia

La tecnología de presión constante representa el estándar de excelencia actual para edificaciones de mediana y gran altura. A diferencia de los modelos anteriores, este sistema utiliza variadores de frecuencia (VFD) para modular la velocidad del motor de la bomba en función de la demanda real de agua. Mediante la modulación por ancho de pulsos (PWM), el variador ajusta los Hertz de la electricidad suministrada, permitiendo que la bomba opere a velocidades reducidas cuando hay poca demanda y acelere gradualmente cuando más grifos se abren (Herrán, 2024). La base científica del ahorro energético en estos sistemas reside en las Leyes de Afinidad para bombas centrífugas. Estas establecen que la potencia absorbida por la bomba (P) varía de forma proporcional al cubo de la relación de velocidades (n):

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3$$

Esto significa que una reducción de solo el **20%** en la velocidad del motor puede resultar en un ahorro de energía cercano al **50%**. Reportes técnicos indican que estos sistemas logran un ahorro de hasta el **83%** en comparación con los sistemas de velocidad fija que trabajan contra válvulas reductoras o en ciclos de ON/OFF.

Ventajas Operacionales y Confort Acústico

Más allá de la eficiencia energética, la presión constante ofrece beneficios tangibles para la durabilidad de la infraestructura. El "arranque suave" elimina los golpes de ariete que suelen fracturar codos y uniones en las redes de tuberías antiguas. Además, la reducción del ruido es drástica: mientras una bomba convencional genera unos **72** dB, una unidad de presión constante de última generación opera en el rango de los **44** a **47** dB, un nivel comparable a una conversación susurrada o al ruido de fondo de una biblioteca.

Tabla 9: Parámetros operacionales en sistemas hidroneumáticos tradicionales, presión constante

Parámetro	Hidroneumático Tradicional	Presión Constante (VFD)

Estabilidad de Presión	Fluctuación de 20 psi	Error de ± 1 psi
Picos de Corriente	Hasta 6 veces la nominal	Nulos (Arranque suave)
Vida Útil del Motor	Afectada por arranques bruscos	Maximizada por operación suave
Complejidad Electrónica	Baja	Alta
Protección contra Marcha en Seco	Requiere electrodos externos	Integrada en el software del VFD

Ingeniería de Detalle y Dimensionamiento Hidráulico

El éxito de una instalación sanitaria indirecta depende de un cálculo hidráulico preciso que evite tanto la falta de presión como el sobredimensionamiento, el cual encarece la obra y favorece el estancamiento del agua.

Método de Hunter y Unidades de Gasto

La norma IS.010 utiliza el Método de Hunter para determinar el caudal máximo probable. A cada aparato sanitario se le asigna un valor de Unidades

de Gasto (UG), y la sumatoria de estas se convierte a litros por segundo (L/s) mediante tablas probabilísticas (Mera y Benavides, 2025). En sistemas de presión constante, se ha observado que la aplicación de fórmulas empíricas específicas puede ofrecer resultados más ajustados a la realidad operativa de edificios multifamiliares:

$$Q_b = 0.081 \cdot UG^{0.672}$$

Donde Q_b es el caudal de bombeo requerido. Este ajuste es fundamental, ya que el sobredimensionamiento en sistemas VFD puede llevar a que la bomba opere por debajo de su frecuencia mínima de enfriamiento, causando daños térmicos al motor.

Cálculo de la Carga Dinámica Total (CDT)

La bomba debe vencer la resistencia total del sistema, que se compone de la altura geométrica, las pérdidas por fricción y la presión residual.

$$H_{TD} = H_{geom} + \sum h_{f(tubería)} + \sum h_{f(accesorios)} + P_{res}$$

Las pérdidas por fricción se calculan comúnmente con la fórmula de Hazen-Williams, considerando el coeficiente de rugosidad (C) del material. En el Perú, la tendencia hacia el uso de PVC y CPVC (con $C = 150$) ha permitido reducir las pérdidas en comparación con las antiguas tuberías de fierro galvanizado ($C = 100$). El diseño debe asegurar que la velocidad del agua se mantenga entre los límites normativos: un mínimo de 0.60 m/s para evitar

sedimentación y un máximo que depende del diámetro (ej. 1.90 m/s para 1/2").

Especificaciones de Instalación y Entorno Operativo

La norma IS.010 y las buenas prácticas de ingeniería dictan requerimientos específicos para el cuarto de bombas y los equipos auxiliares, garantizando la seguridad y la facilidad de mantenimiento.

El Cuarto de Bombas: Requerimientos Físicos

Según el Artículo 9 de la IS.010, el ambiente que aloja los equipos debe cumplir con:

- **Altura Mínima:** 1.60 m para permitir la entrada de personal y herramientas de mantenimiento.
- **Drenaje:** Piso con pendiente del 2% hacia sumideros para evacuar fugas o agua de limpieza.
- **Ventilación:** Crucial para disipar el calor generado por los variadores de frecuencia y los motores. Se recomienda ventilación forzada si el espacio es confinado.
- **Espacio de Trabajo:** Una separación mínima de 0.80 m alrededor de los equipos para facilitar reparaciones.
- **Protección Eléctrica:** El grado de protección IP es vital. En ambientes húmedos o polvorientos, se exigen equipos con protección IP54 o IP55 para prevenir cortocircuitos por salpicaduras o acumulación de residuos.

Alternancia y Redundancia

Salvo en viviendas unifamiliares, el RNE exige que el sistema cuente con al menos dos bombas de funcionamiento alternado. Esto no solo equilibra el desgaste mecánico, sino que garantiza que el edificio no quede sin servicio ante la falla de una unidad. En sistemas de presión constante, los controladores modernos pueden gestionar hasta 8 bombas en cascada, activándolas secuencialmente según la demanda de caudal (Decreto Supremo N° 003-2016-Vivienda, 2016).

Mantenimiento Preventivo y Gestión del Ciclo de Vida

Un sistema indirecto de agua es una inversión a largo plazo que requiere una gestión proactiva para mantener su eficiencia y garantizar la potabilidad del recurso (véase la Tabla 10).

Tabla 10: Frecuencias y Tareas Críticas

Componente	Frecuencia	Tarea de Mantenimiento
Cisterna y Tanque Elevado	Cada 6 meses	Limpieza profunda y desinfección con cloro.
Tanque Hidroneumático	Cada 6 meses	Verificación de presión de precarga de aire/nitrógeno.

Equipo de Bombeo	Cada 3 meses	Revisión de sellos mecánicos, vibración y lubricación de rodamientos.
Variador de Frecuencia	Cada 6 meses	Limpieza de filtros de aire y reapriete de conexiones eléctricas.
Tuberías y Válvulas	Anual	Inspección de fugas, corrosión y prueba de válvulas de seguridad.

La falta de mantenimiento en el tanque de presión de un sistema hidroneumático puede llevar al "traqueteo" o ciclos cortos, donde la bomba arranca y para varias veces por minuto. Esto incrementa drásticamente la factura eléctrica y puede fundir los devanados del motor en pocas semanas (Herrán, 2014).

Prospectiva 2025: Sostenibilidad y Digitalización en el Perú

La ingeniería sanitaria en el Perú atraviesa un proceso de transformación digital impulsado por el Plan BIM Perú y la necesidad de edificios más verdes.

BIM y Gemelos Digitales

Para el cierre del año 2025, el modelado en 3D bajo metodología BIM será obligatorio en proyectos públicos de gran envergadura. Esto permite detectar interferencias entre las tuberías de agua y las estructuras antes de la construcción, reduciendo los desperdicios en obra. La evolución natural es el "Gemelo Digital", un modelo virtual del sistema de bombeo que recibe datos en tiempo real de sensores IoT para predecir fallas antes de que ocurran.

Gestión Inteligente del Agua e IoT

La incorporación de sensores de flujo ultrasónicos y transductores inteligentes permite a los administradores de edificios modernos en distritos como Miraflores o San Isidro monitorear el consumo de agua desde aplicaciones móviles. El Internet de las Cosas (IoT) facilita la detección de fugas invisibles en inodoros o válvulas de rebose, que a menudo pasan desapercibidas y generan facturaciones excesivas.

Edificaciones Resilientes y Reutilización de Aguas Grises

Ante el desafío del cambio climático y el estrés hídrico en la costa peruana, la tendencia es la construcción de edificios con doble red de agua: una para consumo humano (abastecida por sistemas de presión constante) y otra para riego y descarga de sanitarios que utiliza aguas grises tratadas o agua de lluvia. Este enfoque no solo reduce el consumo de agua potable, sino que alinea a las edificaciones con estándares internacionales de sostenibilidad como LEED o EDGE.

Análisis de Costos y Retorno de Inversión

Si bien el sistema de presión constante con variador de frecuencia tiene el costo inicial más alto debido a la sofisticación de sus componentes electrónicos, su retorno de inversión (ROI) suele ser el más rápido (véase la Tabla 11).

Tabla 11: Análisis de costo por rubro de inversión

Rubro de Inversión	Sistema Clásico	Hidroneumático	Presión Constante
Equipamiento	Bajo	Medio	Alto
Obra Civil	Muy Alto (Estructura para tanque elevado)	Medio	Bajo (Solo cisterna)
Consumo Eléctrico	Medio	Alto	Muy Bajo (Ahorro del 20%-70%)
Costo de Mantenimiento	Bajo	Medio	Medio-Alto (Requiere técnico especializado)

En proyectos de gran escala, el ahorro en la estructura de concreto al

eliminar el tanque elevado puede compensar totalmente el costo de los variadores de frecuencia. Además, la reducción en el diámetro de las tuberías de alimentación, permitida por la mayor presión disponible, genera ahorros adicionales en materiales.

La selección de un sistema indirecto de abastecimiento de agua debe basarse en un análisis integral que considere el confort del usuario, la eficiencia operativa y el cumplimiento normativo (Persson et al., 2009).

1. **Sistemas Clásicos:** Su aplicación debe restringirse a edificaciones donde la autonomía ante cortes eléctricos sea la prioridad absoluta y donde el presupuesto para equipamiento electrónico sea limitado. Son ideales para viviendas rurales o centros comunitarios.
2. **Sistemas Hidroneumáticos:** Representan una solución versátil para residencias unifamiliares y comercios de tamaño moderado. Su diseño debe priorizar tanques con membrana de alta calidad para minimizar el mantenimiento y evitar ciclos cortos de bombeo.
3. **Sistemas de Presión Constante:** Son la recomendación técnica definitiva para edificios multifamiliares, oficinas y hospitales modernos. La estabilidad de la presión, el confort acústico y el ahorro energético masivo los posicionan como la inversión más inteligente para el ciclo de vida del edificio.
4. **Integración Normativa:** Es fundamental que todo proyecto sea diseñado y autorizado por un Ingeniero Sanitario colegiado, respetando las dotaciones y requerimientos de la IS.010 para evitar problemas de saneamiento y multas municipales.
5. **Visión de Futuro:** La industria debe prepararse para la adopción masiva

de tecnologías IoT y sistemas de reutilización de agua, que serán el estándar exigido por las regulaciones ambientales y las expectativas de los usuarios hacia el año 2025.

El abastecimiento de agua ha dejado de ser una cuestión de simple fontanería para convertirse en una disciplina de gestión energética y digital. El éxito de las edificaciones del mañana depende de la correcta implementación de estos sistemas hoy.

Capítulo 3

Análisis integral de la problemática en el diseño y gestión de instalaciones sanitarias de sistemas indirectos en edificaciones multifamiliares

La ingeniería sanitaria contemporánea enfrenta desafíos sin precedentes en la intersección de la escasez de recursos, el crecimiento urbano vertical y la obsolescencia normativa. En ciudades como Lima Metropolitana, la segunda metrópoli más grande del mundo asentada en un desierto, el agua potable ha dejado de ser un recurso de flujo constante para convertirse en un bien que requiere una gestión compleja de almacenamiento y presurización.

El planteamiento del problema en la investigación de instalaciones sanitarias de sistemas indirectos no puede limitarse únicamente al cálculo de diámetros y potencias de bombeo; debe integrar una visión holística que abarque desde la microbiología del agua estancada hasta el impacto económico de la ineficiencia energética en los sistemas de velocidad variable.

Contexto global y regional del estrés hídrico en sistemas urbanos

El estrés hídrico es una realidad que afecta actualmente a más de 2,400

millones de personas a nivel global, con proyecciones que sugieren que para el año 2050 más de la mitad de la población mundial vivirá en regiones con escasez severa. Esta crisis se manifiesta con especial crudeza en las zonas urbanas de países en desarrollo, donde la infraestructura de distribución suele presentar pérdidas por fugas de hasta un 50%, lo que equivale a un desperdicio diario de 45 millones de metros cúbicos de agua tratada. En este escenario, la edificación multifamiliar moderna se ve obligada a desarrollar sistemas de autonomía hídrica que compensen la irregularidad del suministro público, lo que da origen a la necesidad absoluta de los sistemas indirectos.

En el Perú, la brecha de acceso al agua potable sigue siendo un obstáculo crítico para el desarrollo humano. De los más de 32 millones de habitantes, aproximadamente el 31.6% no tiene acceso a agua potable por red pública, una cifra que en Lima Metropolitana se traduce en cientos de miles de personas dependiendo de camiones cisterna. La disparidad de costos es alarmante: mientras un usuario conectado a la red de SEDAPAL paga tarifas que oscilan entre S/ 2.80 y S/ 6.21 por metro cúbico, aquellos que dependen del suministro informal pagan hasta S/ 20.00 por la misma cantidad, a menudo recibiendo agua de menor calidad biológica (véase la Tabla 12).

Tabla 12: Indicador socioeconómico del agua en la República de Perú

Indicador Socioeconómico del Agua	Red Pública (SEDAPAL)	Suministro por Camión Cisterna
Tarifa Doméstica	S/ 2.80 - S/ 4.36	S/ 16.00 - S/ 20.00

(promedio m^3)		
Consumo promedio mensual	15 - 20 m^3	5 - 7 m^3
Gasto mensual estimado	S/ 47 - S/ 65	S/ 80 - S/ 120
Calidad del recurso	Controlada por norma	Riesgo de contaminación

Esta realidad obliga a que el diseño de las instalaciones sanitarias internas no solo cumpla con criterios de confort, sino que se convierta en una herramienta de equidad y eficiencia. Un sistema indirecto mal diseñado no solo desperdicia energía, sino que pone en riesgo la salud de los ocupantes mediante la degradación de la calidad del agua almacenada.

Fundamentos técnicos y tipologías de los sistemas indirectos

Un sistema de abastecimiento de agua se clasifica como indirecto cuando el suministro a los aparatos sanitarios se realiza desde depósitos de almacenamiento internos, ya sea por gravedad desde un tanque elevado o mediante equipos de presurización. Esta configuración es obligatoria en edificaciones donde la presión de la red pública es insuficiente para alcanzar los niveles superiores o cuando la continuidad del servicio no está garantizada

las 24 horas del día.

Evolución de los sistemas de almacenamiento y bombeo

Tradicionalmente, el sistema indirecto convencional ha consistido en una cisterna subterránea que recibe el agua de la red pública, una electrobomba de velocidad fija y un tanque elevado en la azotea. Sin embargo, esta configuración presenta debilidades estructurales y sanitarias, como el peso excesivo que el tanque elevado impone a la estructura y el riesgo de contaminación por estancamiento en depósitos de difícil mantenimiento.

La transición hacia sistemas de presión constante con variadores de frecuencia (VFD) ha marcado un hito en la ingeniería sanitaria. Estos sistemas eliminan la necesidad del tanque elevado, reduciendo los costos estructurales y el riesgo de proliferación bacteriana al minimizar el tiempo de residencia del agua. El variador de frecuencia ajusta la velocidad del motor basándose en la lectura de transductores de presión en tiempo real, asegurando que la bomba solo entregue el caudal demandado.

Componentes críticos de la red sanitaria

El diseño de un sistema indirecto robusto requiere la integración de múltiples componentes mecánicos y de control. La cisterna, como primer punto de recepción, debe contar con una capacidad que cubra al menos un día de consumo de la edificación para prever cortes de suministro. Por su parte, la tubería de succión y de impulsión debe dimensionarse para evitar velocidades erosivas o excesivamente bajas que permitan la sedimentación.

La potencia de la bomba se calcula bajo principios de dinámica de

fluidos, considerando la Altura Dinámica Total (HDT), que representa la suma de la altura estática, las pérdidas de carga por fricción en tuberías y las pérdidas localizadas en accesorios como válvulas y codos. La fórmula general para determinar el HDT en metros de columna de agua ($m.c.a.$) se expresa como:

$$HDT = H_{estatica} + H_{friccion} + H_{accesorios} + P_{salida}$$

Donde P_{salida} es la presión mínima requerida en el punto más desfavorable de la instalación, que según la norma peruana no debe ser inferior a 2 $m.c.a.$ para aparatos convencionales y puede requerir niveles superiores para válvulas de descarga tipo fluxómetro.

La problemática normativa en el Perú: El caso de la Norma IS.010

El marco regulatorio que rige las instalaciones sanitarias en el Perú se encuentra principalmente en la Norma Técnica IS.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). A pesar de su importancia, esta normativa presenta vacíos técnicos significativos que dificultan la implementación de soluciones modernas y eficientes.

Ambigüedades y obsolescencia tecnológica

Uno de los principales problemas identificados por los especialistas es que la IS.010 fue concebida bajo una realidad tecnológica de finales del siglo

XX. Por ejemplo, la norma ofrece directrices detalladas para sistemas hidroneumáticos, pero carece de un capítulo específico que regule los sistemas de presión constante con variadores de frecuencia, los cuales son el estándar actual en la construcción inmobiliaria de Lima. Esta falta de claridad genera conflictos entre los proyectistas y los revisores municipales, quienes a menudo aplican criterios dispares ante la ausencia de una base normativa sólida (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

Además, la norma presenta deficiencias en áreas críticas como:

1. **Drenaje de aire acondicionado:** No existen lineamientos claros sobre cómo deben evacuarse los condensados de los sistemas de climatización, lo que a menudo lleva a conexiones cruzadas o descargas inadecuadas que generan humedad y daños estructurales.
2. **Sistemas contra incendio:** La IS.010 mantiene referencias a curvas de diseño y requerimientos que han sido superados por estándares internacionales más rigurosos como la NFPA 13, creando confusión sobre la reserva mínima de agua necesaria y la simultaneidad de uso.
3. **Drenaje pluvial:** Las disposiciones son extremadamente limitadas, remitiéndose únicamente al cálculo de la intensidad de lluvia sin considerar la complejidad del diseño urbano y la gestión de grandes volúmenes de escorrentía en eventos climáticos extremos.

El debate sobre las dotaciones y el sobredimensionamiento

Actualmente, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento ha conformado un grupo de trabajo mediante la Resolución Ministerial N.º 269-2024-Vivienda con el objetivo de reformular el apartado de "Dotaciones". La

tesis central de esta reforma es que las dotaciones actuales (por ejemplo, 1200 a 1500 litros por día para departamentos de tres dormitorios) están significativamente sobredimensionadas frente al consumo real y el uso de aparatos sanitarios de bajo flujo.

El sobredimensionamiento de las cisternas no es un error inocuo; tiene consecuencias financieras y sanitarias directas. Financieramente, implica un gasto innecesario en concreto, excavación y espacio útil que podría destinarse a estacionamientos. Sanitariamente, una cisterna sobredimensionada aumenta el tiempo de residencia del agua, favoreciendo la disipación del cloro residual y el crecimiento de colonias bacterianas.

Patologías sanitarias y microbiología del agua almacenada

El almacenamiento de agua en sistemas indirectos introduce riesgos biológicos que no están presentes en los sistemas de alimentación directa. El agua potable, aunque tratada, no es estéril; contiene microorganismos que, en condiciones de estancamiento y temperaturas elevadas, pueden proliferar rápidamente.

La formación de biopelículas (Biofilm)

La falta de mantenimiento periódico de las cisternas permite la acumulación de sedimentos en el fondo de los depósitos. Estos sedimentos actúan como nutrientes para la formación de biopelículas en las paredes internas. Una vez establecido, el biofilm es extremadamente resistente a la cloración convencional y sirve de refugio para patógenos como *Escherichia coli*,

Pseudomonas aeruginosa y *Legionella*.

Investigaciones microbiológicas en edificios multifamiliares han demostrado que la calidad del agua se mantiene estable durante los primeros meses tras una limpieza profunda, pero a partir del noveno mes, los parámetros microbiológicos comienzan a degradarse significativamente (véase la Tabla 13). Esto justifica la normativa de la DIGESA que exige la limpieza y desinfección obligatoria de los depósitos de agua cada seis meses.

Tabla 13: Valores límite de parámetros microbiológicos en agua

Parámetro Microbiológico	Valor Límite (DS 031-2010-SA)	Riesgo por falta de mantenimiento
Bacterias Coliformes Totales	0 UFC / 100 ml	Indicador de contaminación externa
Escherichia coli	0 UFC / 100 ml	Presencia de materia fecal o filtraciones
Pseudomonas aeruginosa	0 UFC / 100 ml	Patógeno oportunista en reservorios

Cloro Residual Libre	0.5 - 5.0 mg/L	Desaparece en zonas de estancamiento
----------------------	----------------	--------------------------------------

Fallas en la hermeticidad y protección sanitaria

Muchos de los problemas de contaminación en distritos de Lima como Magdalena del Mar o San Isidro se deben a la deficiente protección física de las cisternas. Tapas mal selladas, falta de mallas mosquiteras en los tubos de ventilación y la ubicación de las cisternas a distancias inferiores a los dos metros de muros medianeros o tuberías de desagüe facilitan la infiltración de contaminantes. La infiltración de aguas servidas en la cisterna es una de las fallas más graves reportadas, provocando brotes de enfermedades gastrointestinales agudas en edificios multifamiliares relativamente nuevos por errores en la gestión de la administración.

Eficiencia energética y optimización de sistemas de bombeo

El sistema de bombeo de agua suele representar uno de los mayores consumos de energía eléctrica en las áreas comunes de un edificio multifamiliar. La optimización de estos sistemas es crucial para reducir los costos de mantenimiento y las cuotas de administración.

Variadores de frecuencia vs. Sistemas convencionales

La diferencia operativa entre un sistema de bombeo tradicional (con tanque elevado o hidroneumático de presión fija) y un sistema con variador de frecuencia es sustancial. En los sistemas tradicionales, las bombas arrancan a plena potencia cada vez que la presión cae por debajo de un umbral, lo que genera picos de consumo eléctrico y estrés mecánico en las tuberías conocido como golpe de ariete (Herrán, 2014).

En contraste, el variador de frecuencia (VFD) permite un arranque suave y regula la velocidad de giro del impulsor para ajustarse a las leyes de afinidad de las bombas centrífugas. De acuerdo con estas leyes, la potencia consumida es proporcional al cubo de la velocidad:

$$P_1/P_2 = (n_1/n_2)^3$$

Esto significa que si la demanda de agua permite reducir la velocidad del motor en un 20%, el consumo de energía se reduce en casi un 50%. Además de la eficiencia energética, estos sistemas ocupan menos espacio que los tanques hidroneumáticos de gran volumen y proporcionan una presión constante y confortable para el usuario final en todos los niveles del edificio.

El problema del sobredimensionamiento electromecánico

Es común encontrar en proyectos inmobiliarios bombas excesivamente grandes para la demanda real del edificio. Los proyectistas, a menudo por un exceso de conservadurismo o por falta de datos precisos sobre simultaneidad, seleccionan equipos que trabajan fuera de su punto de máxima eficiencia (*BEP*). Una bomba sobredimensionada no solo gasta más energía, sino que sufre un mayor desgaste mecánico debido a la recirculación interna y a las

vibraciones, lo que reduce drásticamente su vida útil y aumenta los costos de mantenimiento (Herrero, 1969).

Impacto de la construcción sostenible y certificaciones internacionales

La creciente adopción de certificaciones como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y EDGE (Excellence in Design for Greater Efficiencies) en el mercado peruano está transformando los estándares de diseño de las instalaciones sanitarias. Estas certificaciones exigen una reducción mínima del 20% al 40% en el consumo de agua y energía en comparación con una línea de base estándar.

Estrategias de ahorro hídrico

Para alcanzar los puntajes requeridos por estas certificaciones, los ingenieros sanitarios deben implementar estrategias que van más allá del diseño hidráulico tradicional:

1. **Aparatos sanitarios de alta eficiencia:** Uso de griferías con aireadores que reducen el caudal a menos de 1.9 litros por minuto e inodoros de doble descarga con promedios de 4.8 litros.
2. **Sistemas de tratamiento de aguas grises:** Recolección de agua proveniente de duchas y lavabos para ser tratada y reutilizada en la descarga de inodoros o riego de áreas verdes. Aunque solo un pequeño porcentaje de edificios en Lima lo implementa debido a los costos iniciales, representa el futuro de la gestión del agua en climas desérticos.
3. **Monitoreo inteligente:** Instalación de medidores con telemetría que

permiten identificar fugas invisibles en tiempo real, evitando pérdidas económicas significativas para la junta de propietarios.

El impacto de estas medidas es notable. En Lima, edificios certificados han logrado ahorros hídricos promedio del 41.92%, llegando en casos excepcionales hasta el 54%. Esto no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que protege a los residentes frente a la volatilidad de las tarifas de agua, que según SEDAPAL podrían enfrentar incrementos significativos en los próximos años debido a la necesidad de nuevas inversiones en infraestructura.

Patologías comunes y fallas en la ejecución de obra

Incluso con un diseño impecable, la etapa de ejecución y supervisión es donde suelen originarse los problemas que afectarán la vida útil de la instalación sanitaria. La falta de personal capacitado y la ausencia de una supervisión rigurosa derivan en errores que a menudo quedan ocultos tras los acabados hasta que las fallas se vuelven catastróficas.

Errores críticos en la instalación hidráulica

Se han identificado patrones recurrentes de errores en la construcción de sistemas indirectos:

- **Pendientes inadecuadas:** En las redes de desagüe, pendientes menores al 1% provocan la acumulación de sólidos y obstrucciones frecuentes, mientras que pendientes excesivas causan que el agua corra más rápido

que los sólidos, dejándolos depositados en la tubería (Pedroza, 2018).

- **Falta de ventilación:** El sistema de ventilación sanitaria es a menudo sacrificado por razones estéticas o de espacio, lo que provoca la ruptura del sello hidráulico en las trampas (sifonaje) y el ingreso de gases fétidos al interior de los departamentos.
- **Ubicación de accesorios:** El diseño debe prever registros y válvulas de control en lugares accesibles. Es común encontrar válvulas empotradas detrás de muros de concreto o en nichos sin espacio para el uso de herramientas, lo que imposibilita el mantenimiento preventivo y obliga a romper estructuras ante una emergencia.
- **Interferencias estructurales:** El cruce de tuberías de gran diámetro a través de vigas o viguetas sin los debidos refuerzos es una práctica prohibida pero persistente, que debilita la resistencia sísmica del edificio.

El riesgo de las conexiones cruzadas

Uno de los peligros más críticos en los sistemas indirectos es la conexión física entre el sistema de agua potable y sistemas de agua de calidad desconocida (como agua de pozo, sistemas de riego o redes de desagüe). Las conexiones cruzadas, a menudo realizadas accidentalmente durante reparaciones o ampliaciones, pueden provocar que, ante una pérdida de presión en la red pública, el agua contaminada sea succionada hacia la red interna de agua potable por efecto de sifonaje inverso.

Gestión operativa y mantenimiento: El rol de la administración

La durabilidad y seguridad de un sistema indirecto dependen en última instancia de la gestión operativa realizada por la administración del edificio. La falta de una cultura de mantenimiento preventivo es la causa principal de la mayoría de las emergencias sanitarias en Lima.

Protocolos de mantenimiento preventivo

Un plan de mantenimiento profesional para un sistema indirecto debe incluir como mínimo:

1. **Limpieza de depósitos (cada 6 meses):** Según el mandato de la norma DS 022-2001-SA y las exigencias de DIGESA. Este proceso debe incluir el vaciado controlado, la limpieza mecánica de paredes, la desinfección química con hipoclorito de sodio y el enjuague posterior.
2. **Inspección de bombas y variadores (mensual):** Verificación de ruidos anormales, vibraciones, fugas en sellos mecánicos y verificación de los parámetros eléctricos en el tablero de control (Herrero, 1969).
3. **Pruebas de válvulas de retención y flotadores:** Estas piezas mecánicas suelen fallar por la acumulación de sarro y sedimentos, provocando que las cisternas rebalsen o que las bombas trabajen innecesariamente.

Consecuencias legales y económicas del descuido

El incumplimiento de las normativas de salubridad puede derivar en sanciones severas por parte de las municipalidades distritales. En Lima

Metropolitana, las multas por no presentar certificados de limpieza de cisternas o por mantener reservorios en condiciones antihigiénicas pueden alcanzar hasta el 15% o 20% de una Unidad Impositiva Tributaria (UIT) por cada infracción. Sin embargo, el costo más alto no es la multa, sino el daño a la salud de los copropietarios y la depreciación del activo inmobiliario ante fallas sistémicas del servicio de agua.

Conclusiones y recomendaciones para la investigación sanitaria

La problemática de las instalaciones sanitarias de sistemas indirectos en edificaciones multifamiliares revela una desconexión crítica entre la normativa técnica, la práctica constructiva y las necesidades de sostenibilidad urbana. El planteamiento de cualquier investigación en este campo debe reconocer que el sistema sanitario no es un componente estático de la construcción, sino una red dinámica que debe garantizar la salud pública en un entorno de escasez hídrica (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

1. **Necesidad de una Reforma Normativa:** Es imperativo que la Norma IS.010 sea actualizada para incluir criterios de diseño específicos para sistemas de presión constante, IoT y eficiencia energética. Las dotaciones deben basarse en datos de consumo real y no en proyecciones obsoletas que fomentan el sobredimensionamiento.
2. **Promoción de la Tecnología de Velocidad Variable:** Los beneficios en ahorro energético y preservación de la infraestructura justifican la migración masiva hacia variadores de frecuencia. La investigación futura

debería centrarse en desarrollar algoritmos de control que optimicen aún más el consumo en edificios de gran altura.

3. **Fortalecimiento de la Vigilancia Sanitaria:** La administración de edificios debe ser capacitada en la importancia del mantenimiento microbiológico de los depósitos. El agua almacenada debe ser tratada como un producto perecedero que requiere condiciones estrictas de higiene para prevenir la formación de biofilms resistentes.
4. **Integración de la Sostenibilidad desde el Diseño:** Las certificaciones internacionales no deben ser vistas como un lujo, sino como una guía para la resiliencia hídrica. El uso de aguas grises y el monitoreo inteligente de fugas son soluciones viables que deben integrarse en la formación académica y profesional de los ingenieros sanitarios.

En conclusión, la seguridad hídrica de las ciudades modernas depende de la capacidad de los profesionales para diseñar, ejecutar y mantener sistemas indirectos que sean técnicamente eficientes, biológicamente seguros y económicamente sostenibles. El agua que fluye por las tuberías de un edificio multifamiliar es el sustento de la vida urbana y, como tal, su gestión sanitaria es una responsabilidad ineludible de la ingeniería civil y sanitaria contemporánea.

Capítulo 4

Tratado Técnico-Normativo sobre el Cálculo de Dotación, Almacenamiento y Diseño de Sistemas Indirectos de Agua Potable

El diseño y la implementación de sistemas de abastecimiento de agua en edificaciones representan uno de los mayores desafíos para la ingeniería sanitaria contemporánea, especialmente en entornos urbanos donde la presión de la red pública es variable y la continuidad del servicio no está garantizada. En el Perú, este campo está estrictamente regulado por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente a través de la Norma Técnica I.S. 010, la cual establece los lineamientos técnicos para el cálculo de la dotación diaria, el dimensionamiento de las estructuras de almacenamiento y el diseño de los sistemas de bombeo y distribución.

El sistema indirecto, que combina el uso de cisternas, equipos de bombeo y tanques elevados, se ha consolidado como la solución técnica predilecta para asegurar la autonomía hídrica y la estabilidad de presiones en edificaciones multifamiliares, comerciales e industriales.

Fundamentos del Sistema Indirecto y el Marco

Regulatorio de la Norma I.S. 010

El sistema indirecto de suministro de agua se fundamenta en la interrupción del flujo directo desde la red pública hacia los puntos de consumo mediante un depósito intermedio de almacenamiento, generalmente una cisterna ubicada en los niveles inferiores de la edificación. Desde este depósito, el agua es elevada mecánicamente mediante electrobombas hacia un tanque elevado o un sistema presurizado (hidroneumático), para luego ser distribuida por gravedad o presión constante a toda la red interna (Herrero, 1969). Este enfoque no solo mitiga la falta de presión en la red matriz, sino que garantiza un volumen de contingencia ante cortes de servicio, permitiendo una autonomía mínima de 24 horas.

La normativa peruana exige que toda edificación donde el abastecimiento público sea discontinuo o carezca de presión suficiente deba estar provista obligatoriamente de sistemas de almacenamiento y regulación. Este marco legal, bajo la supervisión de ingenieros sanitarios colegiados, busca preservar la calidad del agua, garantizar la cantidad necesaria para las actividades humanas y asegurar presiones adecuadas para el funcionamiento de los aparatos sanitarios modernos.

Determinación Analítica de la Dotación Diaria de Agua

El cálculo de la dotación representa la estimación del volumen total de agua que una edificación consumirá en un día promedio. Es el parámetro fundamental del cual derivan todos los cálculos hidráulicos y el

dimensionamiento de los depósitos. La Norma I.S. 010 desglosa la dotación según el uso específico de la edificación, reconociendo que los patrones de consumo varían drásticamente entre una residencia, una escuela o un hospital.

Para las viviendas unifamiliares, la norma adopta un criterio basado en el área total del lote. Esta decisión técnica asume que a mayor superficie de terreno, existe una mayor probabilidad de ocupación, áreas verdes que requieren riego y actividades complementarias que incrementan el consumo.

Tabla 14: Dotación en el Ámbito Residencial: Unifamiliar y Multifamiliar

Área Total del Lote (m2)	Dotación Diaria (Litros/día)
Hasta 200	1,500
201 a 300	1,700
301 a 400	1,900
401 a 500	2,100

501 a 600	2,200
601 a 700	2,300
701 a 800	2,400
801 a 900	2,500
901 a 1,000	2,600
Más de 1,000	2,600 + 2 por cada m^2 de exceso

Fuente: Norma Técnica I.S. 010, Art. 6.

En contraste, para los edificios multifamiliares, el criterio se desplaza hacia el número de dormitorios por departamento. Esta métrica es significativamente más precisa para la densificación urbana, ya que el número de dormitorios es el indicador demográfico más fiable dentro de una unidad de vivienda (véase la Tabla 15).

Tabla 15: Dotación de agua en litros por día con base en la cantidad de dormitorios

Número de Dormitorios por Departamento	Dotación por Unidad de Vivienda (L/d)
1 dormitorio	500
2 dormitorios	850
3 dormitorios	1,200
4 dormitorios	1,350
5 dormitorios	1,500
Más de 5 dormitorios	+200 por cada dormitorio adicional

Fuente: Norma Técnica I.S. 010.

La implicancia de estos valores es profunda: un edificio de 20 departamentos de 3 dormitorios requerirá una dotación base de 24,000 litros diarios, a lo cual deben sumarse las demandas por áreas comunes, oficinas de administración y riego de jardines.

Instituciones Educativas y Salud

El diseño para centros educativos requiere un análisis poblacional detallado, diferenciando entre estudiantes residentes (internos) y externos, así como el personal de servicio.

- **Población No Residente (Alumnos y Personal):** 50 litros por persona por día.
- **Población Residente (Internos y Personal):** 200 litros por persona por día.
- **Educación Primaria (mínimo general):** 20 litros por alumno por día.
- **Educación Secundaria y Superior:** 25 litros por alumno por día.

Para los establecimientos de salud, el agua no es solo una necesidad biológica sino un agente de asepsia. Por ello, las dotaciones son las más elevadas de toda la norma (véase la Tabla 16).

Tabla 16: Dotación de agua en litros por día en establecimientos de salud tipo

Tipo de Establecimiento de Salud	Dotación Específica
Hospitales y clínicas con hospitalización	600 L/d por cama
Consultorios médicos	500 L/d por consultorio
Clínicas dentales	1,000 L/d por unidad dental

Fuente: Norma I.S. 010.

Adicionalmente, se deben considerar los consumos por lavandería, cocina y riego de áreas verdes, los cuales se calculan de manera separada según lo estipulado para cada rubro en la normativa.

Industrias y Servicios Especiales

La dotación industrial se divide en dos componentes: el agua para consumo humano de los trabajadores y el agua necesaria para los procesos de manufactura. Para el consumo humano, se establece una dotación de 80

litros por trabajador por cada turno de 8 horas. En cuanto a los procesos industriales, el ingeniero debe fundamentar el cálculo basado en la naturaleza de la industria y su maquinaria (Decreto supremo N° 011-2006 – Vivienda, 2006).

Otras actividades especiales incluyen:

- **Estaciones de servicio (Gasolineras):** 300 L/d por cada surtidor.
- **Lavado de vehículos:** $12,800 \text{ L/d}$ por unidad de lavado automático y $8,000 \text{ L/d}$ por unidad manual.
- **Riego de áreas verdes:** 2 L/d por m^2 de área sembrada.

Dimensionamiento Estructural de Cisternas y Tanques Elevados

Una vez consolidada la dotación diaria total (CD), el siguiente paso crítico es el dimensionamiento de los depósitos. El sistema indirecto combinado exige una distribución de capacidades que optimice el uso del espacio y la eficiencia del bombeo.

Proporciones Volumétricas y Capacidades Mínimas

La Norma I.S. 010 es taxativa en cuanto a las capacidades mínimas requeridas para el sistema combinado:

1. **Cisterna (V_c):** No debe ser menor a las tres cuartas ($3/4$) partes de la dotación diaria.

$$V_c \geq 0.75 \cdot CD$$

2. **Tanque Elevado (V_{te}):** No debe ser menor a un tercio ($1/3$) de la dotación diaria.

$$V_{te} \geq 0.33 \cdot CD$$

Este arreglo resulta en un volumen de almacenamiento conjunto del 108.33% de la demanda diaria, lo cual otorga un factor de seguridad vital para cubrir picos de demanda o fallos temporales en el suministro eléctrico que afecten al bombeo. Independientemente del resultado del cálculo, la capacidad mínima de cualquier depósito individual (cisterna o tanque) debe ser de 1,000 litros.

En el caso de utilizar sistemas hidroneumáticos, la cisterna debe dimensionarse para albergar el 100% de la dotación diaria, dado que no existe un tanque elevado que actúe como regulador secundario.

Geometría y Criterios Constructivos

La geometría de los depósitos no es arbitraria. Para cisternas, se recomienda una relación de dimensiones en planta de $1 : 2$ o $1 : 2.5$ entre el ancho y el largo. La profundidad útil debe equilibrar la capacidad con la facilidad de mantenimiento. Constructivamente, se debe considerar una altura libre mínima de 0.20 m entre el nivel máximo de agua y el techo del depósito para permitir la aireación y el funcionamiento de los controles de nivel (Norma Técnica I.S. 020, 2016).

La ubicación de la cisterna debe ser en zonas que no comprometan la cimentación de la edificación y que faciliten el acceso para limpieza. Es imperativo mantener una distancia mínima de 2 metros respecto a muros medianeros y tuberías de desagüe para evitar filtraciones contaminantes. En situaciones donde el espacio es extremadamente restringido, el ingeniero debe diseñar un "sistema de protección" adicional, como muros dobles o recubrimientos impermeables reforzados, para garantizar la estanqueidad y seguridad sanitaria (Decreto supremo N° 011-2006 – Vivienda, 2006).

Dinámica del Sistema de Bombeo: Succión e Impulsión

El equipo de bombeo es el encargado de transferir el agua desde la cisterna hasta el tanque elevado. Su correcto dimensionamiento previene el desgaste prematuro de la maquinaria y asegura que el llenado del tanque se realice en tiempos aceptables para el usuario.

Caudal de Bombeo (Q_b) y Tiempos de Llenado

El caudal de bombeo se calcula tradicionalmente para llenar el volumen total del tanque elevado en un periodo de 2 horas ($T = 7,200$ segundos).

$$Q_b = \frac{V_{te}}{T}$$

No obstante, el proyectista debe comparar este valor con la Máxima Demanda Simultánea (MDS) de la edificación. Si la MDS es superior al caudal de llenado calculado, se debe adoptar el valor de la MDS como caudal de

bombeo para garantizar que el sistema pueda responder ante consumos intensos continuos. El diámetro de la tubería de impulsión se determina en función del caudal de bombeo mediante la tabla del Anexo 5 de la norma (véase la Tabla 17).

Tabla 17: Selección de Diámetros de Tubería

Caudal de Bombeo (L/s)	Diámetro de Impulsión (pulgadas)
Hasta 0.50	3/4"
0.51 a 1.00	1"
1.01 a 1.60	1 1/4"
1.61 a 3.00	1 1/2"
3.01 a 5.00	2"

5.01 a 8.00	2 1/2"
8.01 a 15.00	3"

Fuente: Anexo 5, Norma I.S. 010.

Para la tubería de succión, se aplica un principio hidráulico preventivo: el diámetro debe ser, por lo menos, un diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de impulsión. Esto reduce la velocidad de entrada del agua, minimiza las pérdidas por fricción y previene el fenómeno de cavitación, el cual puede destruir el rodete de la bomba en pocos meses de operación (Su et al., 2009).

Cálculo de la Altura Dinámica Total (HDT) y Potencia

La HDT es la energía total requerida para mover el agua y se compone de la suma de la altura estática (h_e , desnivel vertical entre niveles de agua) y las pérdidas de carga (h_f) por fricción y accesorios.

$$HDT = h_e + h_f + P_{salida}$$

En cálculos rápidos, se suele adicionar un 10% de la longitud recta en la succión y un 25% en la impulsión para estimar las pérdidas por accesorios (codos, válvulas, uniones).

La potencia de la electrobomba se calcula mediante la fórmula:

$$Potencia(HP) = \frac{Q_b \cdot HDT}{75 \cdot \eta}$$

Donde Q_b es el caudal en L/s , HDT en metros y η es la eficiencia del equipo (generalmente entre 0.60 y 0.70 para bombas centrífugas estándar).

Diseño Hidráulico de la Red de Distribución Interna

La distribución de agua desde el tanque elevado hacia los aparatos sanitarios debe realizarse de tal modo que se garanticen presiones y caudales adecuados en todos los niveles, especialmente en el punto más desfavorable.

El Método de Hunter (Gastos Probables)

Debido a que es improbable que todos los aparatos sanitarios de una edificación se utilicen simultáneamente, se emplea el Método de Hunter. Este método asigna "Unidades de Gasto" (UG) a cada aparato, basándose en su gasto nominal y frecuencia de uso (véase la Tabla 18) (Werner et al., 2016).

Tabla 18: Unidades de gasto por aparato sanitario

Aparato Sanitario	UG (con tanque)	UG (con válvula)

Inodoro	3	6
Lavatorio	1	1
Ducha	2	2
Bidet	1	1
Urinario	3	5
Lavadero de cocina	3	—

Fuente: Norma I.S. 010.

La sumatoria de UG en cada tramo de la red se convierte a caudales probables (L/s) mediante las tablas de conversión de Hunter. Este caudal es el que se utiliza para dimensionar los diámetros de los alimentadores y ramales (Werner, 1996).

Parámetros de Velocidad y Presión en la Red

La red debe operar dentro de rangos que eviten ruidos (golpe de ariete) y aseguren la durabilidad de las tuberías. La velocidad mínima debe ser de 0.60 m/s para prevenir la sedimentación. Las velocidades máximas están limitadas por el diámetro para controlar la energía cinética del fluido (véase la Tabla 19).

Tabla 19: Parámetros de velocidad en tuberías

Diámetro (pulgadas)	Velocidad Máxima (m/s)
1/2"	1.90
3/4"	2.20
1"	2.48
1 1/4"	2.85

1 1/2" y mayores	3.00
------------------	------

Fuente: Norma I.S. 010.

En cuanto a la presión, la estática máxima no debe exceder los 50 m.c.a. (~~0.490MPa~~) para evitar daños en la grifería. La presión mínima en el punto de entrega de cada aparato debe ser de 2 m.c.a. (~~0.020MPa~~), salvo en equipos especiales o fluxómetros que requieran presiones mayores según especificaciones de fábrica.

Accesorios Críticos y Seguridad Sanitaria de los Depósitos

La calidad del agua almacenada es tan importante como su cantidad. Los depósitos deben contar con accesorios que prevengan la contaminación y permitan la operación segura.

Sistema de Ventilación y Control de Rebose

Todo tanque debe estar provisto de un tubo de ventilación con codo invertido y malla de alambre fino para impedir el ingreso de insectos o partículas, manteniendo la presión atmosférica interna. El sistema de rebose es la salvaguarda contra inundaciones. Su diámetro se dimensiona hidráulicamente para evacuar el caudal máximo de entrada (véase la Tabla 20).

Tabla 20: sistema de rebose en depósitos de agua

Capacidad del Depósito (L)	Diámetro del Rebose (pulgadas)
Hasta 5,000	2"
5,001 a 12,000	3"
12,001 a 20,000	3 1/2"
20,001 a 30,000	4"
Mayor de 30,000	6"

Fuente: Norma I.S. 010.

Es fundamental que la tubería de rebose descargue de forma indirecta, mediante una "brecha de aire" mínima de 0.05 m sobre el punto de recepción, para evitar que gases de alcantarillado o aguas servidas retrocedan hacia el

depósito.

Dispositivos de Control de Nivel

La automatización del sistema depende de interruptores de nivel (flotadores eléctricos). En el tanque elevado, estos deben arrancar la bomba cuando el nivel baja a la mitad y pararla al llenarse. En la cisterna, el control de nivel debe actuar como protección de marcha en seco, apagando la bomba si el nivel de agua se sitúa a menos de 0.05 m de la canastilla de succión.

Materiales y Estructuralidad: Concreto vs. Prefabricados

Los depósitos de almacenamiento pueden ser contruidos *in situ* de concreto armado o adquiridos como unidades prefabricadas de polietileno de alta densidad (HDPE) o fibra de vidrio. El concreto es ideal para cisternas de gran volumen (mayores a 20 m^3) debido a su durabilidad y capacidad de integrarse a la estructura del edificio, aunque requiere un diseño estructural sismo-resistente y una impermeabilización meticulosa con productos no tóxicos.

Los tanques prefabricados son ventajosos por su ligereza y resistencia a la corrosión, siendo la opción preferida para tanques elevados en azoteas de edificios medianos. Deben ser de material opaco o con protección UV para evitar la proliferación de algas y microorganismos por la incidencia de la luz solar (Norma Técnica I.S. 020, 2016).

Mantenimiento y Operatividad del Sistema

Un sistema de suministro de agua es tan fiable como su programa de mantenimiento. La normativa y las buenas prácticas sugieren la limpieza y desinfección total de cisternas y tanques al menos dos veces al año para eliminar sedimentos y biopelículas. Los equipos de bombeo deben contar con una válvula de interrupción y una de retención (check) en la línea de impulsión para facilitar reparaciones sin vaciar los alimentadores. El espacio alrededor de las bombas debe ser suficiente (altura mínima de 1.60 m) y contar con ventilación y drenaje adecuado para evitar inundaciones en el cuarto de máquinas (Herrero, 1969).

Perspectiva de Sostenibilidad y Futuro del Diseño Sanitario

El diseño de instalaciones sanitarias está evolucionando hacia la integración de sistemas de eficiencia hídrica. La Norma I.S. 010 ya contempla la posibilidad de utilizar fuentes de agua tratada para fines que no requieren calidad potable, como el riego o la descarga de inodoros industriales. El uso de variadores de velocidad en los motores de las bombas permite ahorros energéticos significativos al ajustar el consumo eléctrico a la demanda instantánea, eliminando la necesidad de grandes tanques elevados en algunos diseños modernos y reduciendo las cargas estructurales en las edificaciones.

En conclusión, el cálculo de dotación y el diseño de sistemas de almacenamiento en el Perú es un proceso técnico riguroso que prioriza la salud pública y la continuidad del servicio. La correcta aplicación de las tablas

de dotación, las relaciones volumétricas entre cisterna y tanque, y el respeto por las normativas de seguridad sanitaria y estructural garantizan edificaciones resilientes y eficientes, capaces de enfrentar los retos del crecimiento urbano y el cambio climático. El ingeniero sanitario debe actuar como el custodio de este recurso vital, aplicando ciencia y normativa para asegurar que cada gota de agua sea aprovechada con la máxima eficiencia y seguridad.

Capítulo 5

Estándares de calidad ambiental y marcos normativos para sistemas indirectos de abastecimiento de agua en el Perú

El acceso a agua segura representa uno de los pilares fundamentales para el desarrollo humano, la salud pública y la sostenibilidad ambiental en el Perú. En un contexto de crecimiento urbano acelerado y desafíos geográficos complejos, la infraestructura de abastecimiento ha evolucionado para garantizar que el recurso llegue con la presión y continuidad necesarias a cada usuario. Dentro de este entramado técnico, los sistemas indirectos de abastecimiento —compuestos por cisternas, equipos de bombeo y tanques elevados— se han consolidado como la solución estándar para edificaciones multifamiliares, comerciales e industriales donde la red pública es insuficiente (Norma Técnica I.S. 020, 2016).

Sin embargo, la implementación de estos sistemas introduce una fase crítica de almacenamiento que puede alterar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua. Por ello, el Estado peruano ha desarrollado un robusto marco normativo que integra los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), los Límites Máximos Permisibles (LMP) y reglamentos sanitarios específicos para asegurar que el agua almacenada no represente un riesgo para la población.

Evolución y marco legal de la gestión de la calidad del agua

La gestión de la calidad del agua en el Perú se fundamenta en la Constitución Política, que reconoce el derecho a un ambiente equilibrado y adecuado. Este mandato se traduce en la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, la cual establece que el Estado debe diseñar y aplicar normas que garanticen el ejercicio efectivo de este derecho. El concepto central de esta regulación es el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), definido como la medida que establece el nivel de concentración de elementos o parámetros presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor, sin que represente un riesgo significativo para la salud o el ambiente (Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, 2017).

El marco regulatorio ha experimentado una transformación significativa, pasando de visiones fragmentadas hacia una gestión integrada de los recursos hídricos. El Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM es actualmente la norma matriz que compila y actualiza los ECA para Agua, modificando parámetros previos para alinearlos con estándares internacionales y la realidad técnica nacional. Esta normativa clasifica los cuerpos de agua según su uso destinado, lo cual es vital para los sistemas indirectos que captan agua de diversas fuentes o que reúsan efluentes tratados para fines no potables.

La regulación de los sistemas indirectos no recae en una sola entidad, sino que es el resultado de una coordinación multisectorial. El Ministerio del Ambiente (MINAM) lidera la elaboración de los ECA, mientras que el Ministerio

de Salud (MINSA), a través de la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA), supervisa la calidad del agua para consumo humano (Ministerio de Salud, 2011). Por otro lado, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) regula la prestación de los servicios por parte de las empresas prestadoras (EPS), asegurando que el agua llegue al medidor cumpliendo los estándares (véase la Tabla 21).

Tabla 21: Jerarquía normativa y competencias institucionales

Institución	Rol Principal	Base Legal Relevante
MINAM	Rectoría ambiental, definición de ECA.	D.S. N° 004-2017-MINAM
DIGESA (MINSA)	Vigilancia sanitaria de la calidad del agua para consumo.	D.S. N° 031-2010-SA
SUNASS	Regulación y supervisión de la prestación del servicio.	D.S. N° 019-2017-VIVIENDA
ANA	Gestión y monitoreo de la calidad en fuentes naturales.	Ley de Recursos Hídricos N° 29338

Municipalidades	Fiscalización local y saneamiento ambiental.	Ley Orgánica de Municipalidades
------------------------	--	---------------------------------

Esta estructura asegura que el ciclo del agua, desde su captación en la fuente natural hasta el grifo del consumidor final pasando por el sistema indirecto de almacenamiento, esté bajo una vigilancia constante que previene la contaminación y promueve el uso sostenible.

Caracterización técnica de los sistemas indirectos de abastecimiento

Un sistema de abastecimiento indirecto se define como aquel donde la alimentación de agua a los puntos de consumo no se realiza directamente desde la red pública, sino a través de depósitos de almacenamiento intermedios. Esta configuración es imperativa en ciudades con presión hidráulica variable o en edificios cuya altura supera la capacidad de carga de la red exterior (Ordenanza Municipal N.º Ordenanza Municipal N.º 2200, 2019).

Componentes y diseño según la Norma IS.010

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente en su Norma Técnica I.S. 010, establece los requisitos mínimos de diseño para estos sistemas. Los componentes fundamentales incluyen:

1. **Cisterna:** Depósito ubicado generalmente en la parte baja de la edificación para almacenar el agua proveniente de la red pública. Debe

estar construida con materiales que preserven la calidad del agua y ser hermética para evitar filtraciones externas.

2. **Equipo de Bombeo:** Conjunto de bombas que impulsan el agua desde la cisterna hasta el nivel superior.
3. **Tubería de Impulsión:** Conducto que transporta el agua presurizada hacia el almacenamiento elevado.
4. **Tanque Elevado:** Depósito situado en la parte más alta de la edificación que suministra agua por gravedad a los aparatos sanitarios.

El dimensionamiento de estos depósitos es crítico para garantizar la continuidad del servicio. Según el RNE, el volumen de la cisterna no debe ser menor a las tres cuartas partes de la dotación diaria, mientras que el tanque elevado debe almacenar al menos un tercio de dicha dotación. Esta redundancia permite que el edificio cuente con un volumen de contingencia ante interrupciones en el suministro público.

El riesgo de la contaminación en el almacenamiento

A pesar de sus ventajas operativas, los sistemas indirectos presentan riesgos inherentes a la calidad del agua. El almacenamiento prolongado puede reducir los niveles de cloro residual libre, permitiendo el crecimiento de biopelículas en las paredes de los tanques. Además, un diseño deficiente puede facilitar conexiones cruzadas, donde agua de calidad desconocida o contaminada ingresa al sistema de agua potable. La Norma IS.010 exige que las cisternas mantengan una distancia mínima de 2 metros respecto a muros medianeros y tuberías de desagüe para mitigar el riesgo de infiltración (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

Estándares de calidad ambiental para agua de consumo y su aplicación

La calidad del agua dentro de los sistemas indirectos debe regirse por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, aprobado mediante el Decreto Supremo N° 031-2010-SA. Esta norma establece los límites máximos permisibles (LMP) para parámetros microbiológicos, físicos, químicos y organolépticos que deben cumplirse en el punto de entrega al consumidor (véase la Tabla 22).

La seguridad biológica es la prioridad absoluta en la vigilancia del agua almacenada. La presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal es inaceptable y activa protocolos de emergencia inmediata por parte de las autoridades de salud (Su et al., 2009).

Tabla 22: Parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetro	Límite Máximo Permisible (LMP)	Implicancia para la Salud
Bacterias Coliformes Totales	0 UFC/100 ml	Indicador de deficiencia en el tratamiento o limpieza.
Escherichia coli (E. coli)	0 UFC/100 ml	Indicador directo de contaminación fecal reciente.

Bacterias Heterotróficas	< 500 UFC/ml	Mide la población bacteriana general y formación de biofilm.
Huevos y Larvas de Helmintos	0 organismos/L	Previene infecciones parasitarias crónicas.

La ausencia de estos patógenos en el agua que sale de los tanques elevados es la prueba principal de que el sistema de almacenamiento está operando de manera higiénica y que el mantenimiento ha sido efectivo.

Parámetros físico-químicos y organolépticos

Además de ser segura microbiológicamente, el agua debe ser aceptable para los sentidos y no contener sustancias químicas nocivas. El cloro residual libre es el parámetro físico-químico más importante para la vigilancia diaria en edificios con sistemas indirectos (véase la Tabla 23).

Tabla 23: Parámetros físico-químicos y organolépticos

Parámetro	Rango o Límite (LMP)	Función y Relevancia
Cloro Residual Libre	0.5 - 5.0 mg/L	Garantiza la desinfección continua en el almacenamiento.

Turbiedad	Máximo 5 UNT	Afecta la estética y puede interferir con la cloración.
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5 - 8.5	Afecta la corrosión de tuberías y eficacia del cloro.
Color	Máximo 15 UPC	Indicador de presencia de metales o materia orgánica.
Arsénico	0.01 mg/L	Metal pesado de alta toxicidad crónica.

El mantenimiento de un nivel mínimo de 0.5 mg/L de cloro en el punto más alejado del edificio (normalmente el último grifo del último piso) asegura que el agua ha sido protegida contra la recontaminación bacteriana durante su paso por la cisterna y el tanque elevado.

Protocolos de mantenimiento y desinfección de depósitos

La normativa peruana es explícita respecto a la obligatoriedad del mantenimiento de los reservorios de agua. El sedimento que se acumula naturalmente en el fondo de las cisternas se convierte en un medio de cultivo para microorganismos si no se retira periódicamente.

Frecuencia y bases legales del saneamiento

De acuerdo con las disposiciones de la DIGESA y el Ministerio de Salud, la limpieza y desinfección de cisternas y tanques elevados debe realizarse, como mínimo, cada seis meses. Esta frecuencia es obligatoria para todo tipo de edificaciones, incluyendo residencias multifamiliares, centros comerciales, hospitales e industrias alimentarias.

El cumplimiento de este cronograma semestral es verificado por las municipalidades distritales. La falta de un certificado de limpieza vigente, emitido por una empresa de saneamiento ambiental autorizada, puede resultar en multas que oscilan entre el 5% y el 15% de una UIT, dependiendo de la jurisdicción y la gravedad del riesgo sanitario identificado. En distritos como Magdalena del Mar, se han lanzado programas específicos para asegurar que instituciones como los colegios mantengan sus tanques limpios antes del inicio del año escolar para prevenir enfermedades gastrointestinales en niños (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2025).

Procedimiento técnico para la desinfección efectiva

Un servicio profesional de limpieza de reservorios debe seguir un protocolo estricto para no comprometer la potabilidad del agua. El proceso implica el uso de energía mecánica y química de forma equilibrada.

1. **Vaciado y Aislamiento:** Se cierra la válvula de entrada y se drena el agua. Es fundamental taponar la salida a la red interna para evitar que el sedimento removido entre en las tuberías y cause obstrucciones o contaminación secundaria.
2. **Limpieza Mecánica:** Se retira manualmente el lodo y sarro utilizando

cepillos de fibra sintética. El uso de escobas con cerdas metálicas está prohibido ya que pueden dañar el revestimiento impermeable de la cisterna.

3. **Aplicación de Desinfectante:** Se utiliza una solución de hipoclorito de sodio al 0.1% (1000 ppm). Esta solución se aplica mediante pulverización o con paños en todas las superficies internas: paredes, piso, techo y tapas.
4. **Tiempo de Contacto:** El desinfectante debe actuar por un período de entre 15 y 30 minutos para garantizar la destrucción de la pared celular de bacterias y la desactivación de virus.
5. **Enjuague y Purgado:** Se enjuaga con abundante agua limpia hasta eliminar el residuo químico. Luego de llenar el sistema, se abren todos los grifos del edificio para purgar la red interna con agua clorada, asegurando que todo el sistema indirecto quede desinfectado.

Estándares de calidad para el reúso de agua y ECA Categoría 3

En la búsqueda de la sostenibilidad hídrica, muchas edificaciones modernas están implementando sistemas indirectos de reúso de aguas grises o pluviales para fines no potables, como el riego de áreas verdes y la descarga de inodoros. En estos casos, la calidad del agua no se mide con los LMP de consumo humano, sino con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 3.

Subcategoría D1: Riego de Vegetales

La Categoría 3 del D.S. N° 004-2017-MINAM es fundamental para los

sistemas de riego en parques y jardines de zonas urbanas. Esta categoría establece parámetros específicos para asegurar que el agua utilizada no afecte la salud de las personas que transitan por las áreas verdes ni degrade el suelo (véase la Tabla 24).

Tabla 24: Parámetros microbiológicos en agua para riego restringido o no

Parámetro	Agua para Riego No Restringido	Agua para Riego Restringido
Coliformes Termotolerantes	1000 NMP/100 ml	2000 NMP/100 ml
Escherichia coli	1000 NMP/100 ml	**
Huevos de Helminos	< 1 Huevo/L	1 Huevo/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	15 mg/L	15 mg/L

Aceites y Grasas	5 mg/L	10 mg/L
-------------------------	--------	---------

El riego no restringido se aplica a parques públicos, campos deportivos y áreas verdes donde el contacto humano es frecuente. Para estos usos, los parámetros microbiológicos son más estrictos para prevenir la transmisión de enfermedades de origen hídrico a través del contacto con el follaje o el césped.

Requisitos para sistemas de agua duales

Cuando una edificación cuenta con un sistema indirecto de agua potable y un sistema de reúso, la Norma IS.010 exige que ambos sean totalmente independientes. No puede existir ninguna conexión física entre ellos. Además, las tuberías de agua de reúso deben estar debidamente identificadas y diferenciadas por colores o etiquetas para evitar errores durante reparaciones que puedan provocar una contaminación cruzada. El uso de agua residual tratada para riego es una estrategia clave para mitigar el estrés hídrico, pero requiere una vigilancia rigurosa del cumplimiento de los ECA para proteger la salud pública y el ecosistema urbano.

Vigilancia epidemiológica y control de riesgos sanitarios

La vigilancia de la calidad del agua es un proceso dinámico que busca identificar peligros antes de que se conviertan en riesgos para la población. DIGESA establece que los proveedores de agua deben contar con un Plan de

Control de Calidad (PCC) basado en el análisis de peligros y puntos críticos de control. En el caso de los edificios con sistemas indirectos, esta responsabilidad recae en el administrador de la propiedad.

Puntos Críticos de Control (PCC) en edificios

Dentro de un sistema indirecto, se identifican varios puntos donde la calidad del agua puede verse comprometida:

- **Ingreso al Medidor:** Punto de transferencia de responsabilidad de la EPS al usuario. Si el cloro residual es bajo aquí, la EPS debe ser notificada.
- **Cisterna de Almacenamiento:** Riesgo de contaminación por filtración, falta de hermeticidad en las tapas o sedimentación excesiva.
- **Tanque Elevado:** Riesgo de proliferación de algas por exposición solar o ingreso de insectos y aves si la ventilación no tiene mallas finas.
- **Puntos de Consumo Final:** Grifos más alejados donde se debe verificar el cloro residual libre para confirmar que la desinfección persiste en toda la red.

La Directiva Sanitaria N° 132-MINSA/2021/DIGESA, aunque enfocada en establecimientos de salud, brinda un marco técnico excelente para la vigilancia en cualquier sistema indirecto de alta complejidad, exigiendo monitoreos diarios de cloro residual, turbiedad y pH.

La importancia de la tecnología en la vigilancia

La SUNASS y la DIGESA están promoviendo la adopción de nuevas tecnologías para la toma de decisiones informadas. En ciudades como Ayacucho, se han implementado sistemas de control de calidad con tecnología

moderna para obtener información confiable y oportuna sobre los parámetros del agua. En los edificios residenciales, la instalación de sensores de monitoreo en línea en los tanques elevados permite a los administradores recibir alertas automáticas si el nivel de cloro desciende por debajo de 0.5 mg/L, permitiendo una redosificación inmediata antes de que la calidad se degrade.

Implicancias socioeconómicas del cumplimiento de los estándares

El mantenimiento de los estándares de calidad ambiental en los sistemas indirectos tiene un impacto directo en la economía de las familias y las empresas. Un sistema bien mantenido no solo protege la salud, reduciendo el gasto en atención médica por enfermedades hídricas, sino que también prolonga la vida útil de la infraestructura.

Impacto en la infraestructura y costos operativos

La acumulación de sarro y la corrosión inducida por desequilibrios químicos (como un pH inadecuado o exceso de cloro) pueden dañar severamente las tuberías internas y los equipos de bombeo. La limpieza regular evita que estos sedimentos se desplacen a través de la red, obstruyendo válvulas y dañando termas o calentadores de agua. A largo plazo, el costo preventivo de la limpieza semestral es significativamente menor que el costo correctivo de reemplazar tramos de tuberías empotradas o reparar bombas dañadas por cavitación o sedimentos.

Responsabilidad legal y sanciones

El marco legal peruano otorga a las municipalidades la facultad de sancionar no solo la falta de limpieza, sino también el estado físico deficiente de los reservorios. La Ordenanza N° 2200 de la Municipalidad Metropolitana de Lima tipifica como infracción grave el no mantener herméticamente tapados los reservorios, con multas que pueden derivar en la clausura del establecimiento comercial hasta que se regularice la conducta infractora (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2019). En el caso de viviendas multifamiliares, la responsabilidad recae sobre la junta de propietarios o la empresa administradora, quienes deben velar por la salubridad del sistema común.

El Perú enfrenta retos significativos para garantizar el acceso universal a agua segura, especialmente en zonas de expansión urbana donde la infraestructura es desigual. Para Su et al. (2009), la contaminación de las fuentes de agua por actividades mineras, industriales y la disposición inadecuada de residuos sólidos ejerce una presión constante sobre las plantas de tratamiento de las EPS, lo que a su vez afecta la calidad del agua que llega a los sistemas indirectos de los edificios.

Gradualidad y adaptación de los ECA

La Ley General del Ambiente establece el principio de gradualidad en la revisión de los parámetros de contaminación, permitiendo ajustes progresivos a los niveles de calidad exigidos. Esto es vital para que las industrias y las empresas prestadoras de servicios puedan adaptar sus procesos de tratamiento a estándares cada vez más rigurosos sin comprometer la

sostenibilidad económica del servicio. La tendencia futura apunta a una integración más profunda de los ECA en los instrumentos de gestión ambiental de las ciudades, promoviendo el concepto de "ciudades inteligentes de agua" donde la calidad sea monitoreada y transparente para el ciudadano (Espinoza, 2001).

La integridad de la calidad del agua en los sistemas indirectos de abastecimiento en el Perú es una responsabilidad compartida que requiere el cumplimiento estricto de una normativa técnica y sanitaria avanzada. No basta con recibir agua potabilizada de la red pública; el almacenamiento intradomiciliario debe ser gestionado como una extensión del proceso de tratamiento (Su et al., 2009).

Se recomienda a los administradores de edificaciones y responsables de saneamiento:

- Mantener una vigilancia diaria del cloro residual libre, asegurando que se encuentre entre 0.5 y 1.0 mg/L en todos los puntos de la red.
- Cumplir rigurosamente con la limpieza y desinfección semestral de cisternas y tanques elevados, utilizando empresas certificadas que emitan la documentación exigida por DIGESA y las municipalidades.
- Asegurar la hermeticidad total de los depósitos para evitar el ingreso de contaminantes externos y proteger los tanques elevados de la radiación solar directa para prevenir el crecimiento de algas.
- Fomentar la implementación de sistemas de reúso de agua para riego, cumpliendo con los ECA Categoría 3, lo cual reduce el consumo de agua potable y contribuye a la sostenibilidad ambiental de la urbe.

El fortalecimiento de la vigilancia sanitaria, la modernización de la infraestructura y el compromiso ciudadano con el mantenimiento preventivo son los pilares que garantizarán que el agua almacenada en los sistemas indirectos siga siendo un vehículo de salud y bienestar para todos los peruanos.

Capítulo 6

Evolución, Aplicación y Prospectiva del Método de los Gastos Probables de Roy B. Hunter

El diseño de los sistemas de distribución de agua potable en el interior de las edificaciones representa uno de los desafíos más complejos de la ingeniería civil y sanitaria contemporánea. La necesidad de garantizar el suministro continuo, la presión adecuada y la calidad del agua en cada punto de consumo, minimizando al mismo tiempo los costos de infraestructura y el impacto ambiental, ha impulsado la búsqueda de métodos de cálculo cada vez más precisos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2004).

En el centro de esta evolución se encuentra el método de los gastos probables, desarrollado por Roy B. Hunter en 1940, una herramienta que revolucionó la fontanería al introducir conceptos estadísticos y probabilísticos en un campo que anteriormente se basaba en la suma aritmética de caudales. Este paradigma, fundamentado en la premisa de que el uso de los aparatos sanitarios es un evento aleatorio e intermitente, sigue siendo la piedra angular de normativas internacionales y regionales, como la Norma IS.010 de Perú o la NTC 1500 de Colombia, a pesar de los retos que imponen las tecnologías de bajo consumo del siglo XXI (Salas et al., 2023).

Fundamentos Históricos y la Ruptura del Paradigma Determinista

La historia de la ingeniería hidráulica en edificaciones se divide en un antes y un después de la publicación de los informes del National Bureau of Standards (NBS) de los Estados Unidos. Antes de la década de 1940, el dimensionamiento de tuberías se realizaba bajo un enfoque determinista, sumando el gasto máximo posible de cada grifo, ducha e inodoro instalado.

Este método tradicional resultaba en un sobredimensionamiento masivo de las redes, ya que partía de la asunción irreal de que todos los aparatos podrían ser utilizados simultáneamente. Las consecuencias de este error no eran solo económicas, debido al costo excesivo de materiales, sino también técnicas, pues las velocidades de flujo extremadamente bajas favorecían la sedimentación y el crecimiento de biopelículas en el interior de los tubos.

Roy B. Hunter, investigador del NBS, reconoció que el comportamiento de los usuarios en una edificación sigue patrones estocásticos. A través de una observación sistemática y la recopilación de datos sobre la duración y frecuencia de uso de los aparatos, Hunter estableció que la probabilidad de uso simultáneo decrece de forma no lineal a medida que aumenta el número total de piezas sanitarias en el sistema. Su trabajo culminó en los informes BMS 65 y BMS 79, donde propuso una metodología para estimar la "demanda máxima probable", un valor que asegura el suministro para la gran mayoría de las situaciones de carga sin incurrir en los excesos del pasado (Gormley et al., 2021).

El Legado del Reporte BMS 79

El impacto del método de Hunter fue tal que, en pocos años, se convirtió en la base de los códigos de fontanería más influyentes del mundo, incluyendo el Uniform Plumbing Code (UPC) y el International Plumbing Code (IPC). La genialidad de Hunter residió en la creación de una escala adimensional para cuantificar la demanda: las Unidades de Gasto (UG) o Unidades de Mueble (Fixture Units). Al asignar un valor numérico a cada aparato basado en su peso relativo en el sistema, simplificó procesos matemáticos que de otro modo requerirían el uso de cálculos de probabilidad complejos para cada proyecto.

Arquitectura Estadística del Método de Hunter

Para comprender la validez y las limitaciones del método, es imperativo analizar su base matemática. Hunter empleó la teoría de la probabilidad binomial para describir el funcionamiento de un grupo de aparatos. La premisa fundamental es que un sistema hidráulico debe estar diseñado para abastecer a un número m de aparatos de un total de n instalados, de tal forma que la probabilidad de que más de m aparatos operen simultáneamente sea menor al 1% del tiempo (Barrera, 2022).

La probabilidad de que un aparato específico esté en funcionamiento en un instante cualquiera (p) se define por la relación entre el tiempo de uso o descarga (t) y el intervalo de tiempo promedio entre usos sucesivos durante el periodo de máxima demanda (T):

$$p = \frac{t}{T}$$

Bajo este esquema, la probabilidad de que exactamente r aparatos de un total de n estén funcionando simultáneamente se calcula mediante la fórmula de la distribución binomial:

$$p_r^n = \binom{n}{r} p^r (1 - p)^{n-r}$$

Donde el coeficiente binomial se expresa como:

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

El sistema se considera dimensionado adecuadamente si se cumple que la probabilidad acumulada de encontrar desde 0 hasta m aparatos funcionando es mayor o igual al 99% (0.99), lo que garantiza un nivel de servicio casi ininterrumpido:

$$\sum_{r=0}^m \binom{n}{r} p^r (1 - p)^{n-r} \geq 0.99$$

Simplificación mediante Unidades de Gasto

Dado que el cálculo manual de estas sumatorias para cada tramo de una red compleja sería impracticable para la época, Hunter introdujo la Unidad de Gasto como una medida de la carga impuesta por un aparato. Tomó como

referencia el lavatorio doméstico, asignándole un valor base, y determinó experimentalmente la equivalencia para otros aparatos basándose en su gasto (q), frecuencia (T) y duración (t).

Esta estructura permite que el ingeniero simplemente sume las UG de todos los aparatos servidos por una tubería y utilice las "Curvas de Hunter" para convertir esa suma en un caudal de diseño en litros por segundo (L/s) o galones por minuto (GPM).

La Aplicación Normativa: El Caso de la Norma IS.010 en Perú

En el contexto latinoamericano, y específicamente en el Perú, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) adopta el método de Hunter a través de la Norma IS.010. Esta norma es un ejemplo de cómo una metodología universal se adapta a las condiciones locales de equipamiento y uso.

La Norma IS.010 clasifica los aparatos sanitarios en dos categorías principales: de uso privado (viviendas) y de uso público (hospitales, escuelas, centros comerciales). Esta distinción es crítica, ya que un mismo aparato, como un inodoro, tendrá una frecuencia de uso mucho mayor en un entorno público, lo que eleva significativamente su Unidad de Gasto (véase la Tabla 25) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012).

Tabla 25: Unidades de Gasto según la Naturaleza del Edificio

Aparato Sanitario	Tipo	Uso Privado (UG)	Uso Público (UG)
Inodoro	Con tanque	3	5
Inodoro	Con fluxómetro	6	10
Lavatorio	Grifo simple	1	2
Ducha	Mezcladora	2	4
Urinario	Con fluxómetro	-	5
Lavadero de cocina	Mezcladora	2	4
Lavadero de ropa	Grifo simple	3	-

Fuente: Adaptación de los Anexos 1 y 2 de la Norma IS.010.

Para el cálculo de redes que conducen tanto agua fría como caliente, la norma prescribe utilizar valores específicos para cada servicio. Por ejemplo, en una ducha de uso privado, el valor total es de 2 UG, pero si se dimensiona la tubería de agua fría o caliente por separado, se asigna 1.5 UG a cada una para considerar la simultaneidad dentro del mismo aparato.

Una vez obtenida la suma total de UG para un tramo determinado, la Norma IS.010 proporciona una tabla de conversión que refleja las dos curvas de Hunter originales: una para sistemas compuestos principalmente por inodoros con tanque y otra para sistemas con fluxómetros (véase la Tabla 26).

Tabla 26: Conversión a Gastos Probables (Norma IS.010: Anexo 3)

Suma de Unidades de Gasto	Gasto Probable - Tanque (L/s)	Gasto Probable - Fluxómetro (L/s)
3	0.12	-
10	0.43	1.06

20	0.54	1.33
50	1.13	1.93
100	1.67	2.50
500	4.64	5.34
1000	7.72	7.72

Nota: La convergencia de ambas curvas en valores altos de UG refleja que la influencia del tipo de descarga inicial del inodoro se diluye estadísticamente en grandes redes.

Consideraciones Hidráulicas en el Dimensionamiento de Tuberías

El método de Hunter entrega el caudal de diseño (Q), pero la labor del ingeniero no termina allí. La determinación del diámetro de la tubería debe

satisfacer criterios estrictos de velocidad y presión para asegurar la durabilidad del sistema y el confort del usuario (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

Dinámica de Velocidades y Presiones

La Norma IS.010 establece límites de velocidad para prevenir dos problemas opuestos: el ruido y la erosión (por velocidades altas) y la sedimentación (por velocidades bajas) (véase la Tabla 27).

1. **Velocidad Mínima:** Debe ser de 0.60 m/s. Este valor asegura que cualquier partícula sólida en el agua se mantenga en suspensión y no se deposite en el fondo del tubo, evitando obstrucciones a largo plazo.
2. **Velocidad Máxima:** Varía según el diámetro de la tubería, ya que diámetros mayores tienen mayor masa de agua en movimiento y, por ende, mayor energía cinética, lo que aumenta el riesgo de golpe de ariete.

Tabla 27: Límites de velocidad en tubería

Diámetro (pulgadas)	Nominal	Diámetro Nominal (mm)	Velocidad Máxima (m/s)
1/2"		15	1.90
3/4"		20	2.20

1"	25	2.48
1 1/4"	32	2.85
1 1/2" y mayores	40 y mayores	3.00

Fuente: Tabla de velocidades máximas, Norma IS.010.

Cálculo de Pérdidas de Carga

Para garantizar que la presión en el aparato más desfavorable (el más alejado y elevado) sea suficiente para su funcionamiento, se deben calcular las pérdidas de energía por fricción (h_f). El método más utilizado en edificaciones debido a su practicidad y precisión para tuberías de plástico (PVC, CPVC, PEX) es la ecuación de Hazen-Williams:

$$h_f = 10.67 \cdot \frac{L \cdot Q^{1.85}}{C^{1.85} \cdot D^{4.87}}$$

Donde:

- L : Longitud de la tubería (m).
- Q : Caudal o gasto probable (m³/s).

- C : Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams (150 para PVC).
- D : Diámetro interno de la tubería (m).

Además de las pérdidas longitudinales, se deben incluir las pérdidas localizadas o menores producidas por accesorios (codos, tes, válvulas), las cuales se suelen expresar como longitudes equivalentes de tubería recta. La presión de servicio en la entrada de los aparatos no debe ser menor de 2.0 mca (metros de columna de agua), aunque para inodoros con fluxómetro se requiere una presión mínima de 7.0 a 10.5 mca para activar correctamente el mecanismo de cierre.

Comparativa con Métodos Alternativos de Diseño

Si bien el método de Hunter es el estándar en América, existen otras metodologías que ofrecen perspectivas distintas sobre la simultaneidad y el riesgo hidráulico.

El Método de la Raíz Cuadrada y Coeficientes de Simultaneidad

Común en normativas europeas, este enfoque calcula el caudal simultáneo (Q_s) aplicando un coeficiente reductor (K) a la suma de los caudales de los aparatos individuales (Q_i):

$$Q_s = K \cdot \sqrt{\sum Q_i}$$

Este método es muy sencillo de aplicar pero depende críticamente de la correcta selección del valor de K , el cual varía según el uso del edificio. Por ejemplo, para viviendas se utiliza un K más bajo que para hospitales o internados.

Métodos Estocásticos Modernos y el Water Demand Calculator (WDC)

En años recientes, la industria ha reconocido que las curvas de Hunter originales, basadas en datos de 1940, tienden a sobredimensionar las redes modernas que utilizan aparatos de alta eficiencia. En respuesta, organizaciones como IAPMO y ASPE han desarrollado el Water Demand Calculator (WDC), una herramienta incorporada en el Uniform Plumbing Code (UPC) 2021.

A diferencia de Hunter, el WDC utiliza algoritmos que consideran el volumen de descarga real de aparatos modernos y modelos de uso actuales. Los estudios demuestran que el WDC puede reducir los caudales de diseño en un 20% a 40% en comparación con Hunter, lo que permite el uso de diámetros menores, reduciendo los costos de construcción y mejorando la calidad del agua al disminuir el tiempo de residencia en la tubería (Usón et al., 2010).

El Desafío del Sobredimensionamiento y la Sostenibilidad

El sobredimensionamiento, una consecuencia directa de aplicar rígidamente el método de Hunter tradicional a edificios con grifería de ultra-bajo consumo, es hoy un problema de salud pública y sostenibilidad.

Impacto en la Calidad del Agua

Cuando una tubería es más grande de lo necesario para el flujo real, la velocidad del agua disminuye significativamente. Esto provoca que el agua permanezca más tiempo dentro del edificio, perdiendo el cloro residual proporcionado por la red pública. El agua estancada y tibia es el caldo de cultivo ideal para patógenos como la *Legionella pneumophila*, que puede proliferar en biopelículas que se forman con mayor facilidad en condiciones de bajo flujo (Tilley et al., 2014).

Costos y Huella de Carbono

Desde la perspectiva económica, el uso de tuberías de mayor diámetro incrementa no solo el costo de los tubos, sino de todos los accesorios, soportes y válvulas. En grandes desarrollos habitacionales, la optimización del diseño mediante métodos más precisos puede representar ahorros de miles de dólares en materiales y mano de obra. Además, el uso excesivo de materiales plásticos y metálicos tiene un impacto directo en la huella de carbono de la edificación, un factor cada vez más regulado por certificaciones ambientales como LEED o EDGE (Espinoza, 2001).

Procedimiento de Cálculo Paso a Paso para una Red Hidráulica

Para ilustrar la integración de todos estos conceptos, se describe el procedimiento estándar que sigue un proyectista sanitario utilizando el método de Hunter, adaptado de Mora y Benavides (2025):

Fase 1: Recopilación de Información Arquitectónica

El primer paso es identificar todos los puntos de consumo en los planos de arquitectura. Cada baño, cocina, lavandería o área de riego debe ser inventariada. Se debe distinguir claramente si la edificación es residencial (uso privado) o comercial/institucional (uso público), ya que esto determinará la tabla de UG a emplear.

Fase 2: Metrado de Unidades de Gasto

Se procede a asignar las UG a cada aparato según el anexo correspondiente de la norma local (como el Anexo 1 o 2 de la IS.010). La suma de estas unidades se realiza tramo por tramo, desde los ramales más pequeños hacia los alimentadores principales. Es un error común sumar caudales; lo correcto es sumar UG y solo realizar la conversión a caudal en el punto final de cada tramo analizado.

Fase 3: Determinación del Caudal de Diseño

Con la suma acumulada de UG, se ingresa a la tabla de gastos probables (Anexo 3 de la IS.010 o Curvas de Hunter originales). Si el edificio cuenta con inodoros con fluxómetro, se debe utilizar la columna correspondiente, que asigna caudales significativamente mayores para absorber los picos de demanda instantánea de estas válvulas.

Fase 4: Selección de Diámetros y Verificación de Velocidad

Para cada tramo, se selecciona un diámetro comercial inicial (por ejemplo, 1/2", 3/4", 1") y se calcula la velocidad del flujo ($V = Q/A$). Si la velocidad resultante está fuera del rango de 0.6 m/s a los límites máximos permitidos, se debe ajustar el diámetro y repetir el cálculo.

Fase 5: Balance de Presiones

Finalmente, se realiza el cálculo de las pérdidas de carga desde la fuente (cisterna o medidor) hasta el aparato más desfavorable. Se debe asegurar que la presión estática menos las pérdidas por fricción y las pérdidas por altura geométrica sea superior a la presión mínima requerida por el aparato.

Sistemas de Almacenamiento y Regulación

El método de Hunter estima la demanda instantánea, pero el diseño hidráulico integral también requiere dimensionar los depósitos que garantizan la autonomía del edificio frente a fallas en el suministro externo.

Dotación Diaria y Volumen de Reserva

La dotación es la cantidad de agua que se prevé que consumirá la edificación en un día. Para viviendas unifamiliares en Perú, la dotación se basa en el área del lote, mientras que en edificios multifamiliares se basa en el número de dormitorios.

- **Viviendas Multifamiliares:**
 - 1 dormitorio: 500 L/d.

- 2 dormitorios: 850 L/d.
- 3 dormitorios: 1,200 L/d.
- 4 o más dormitorios: 1,350 L/d.

Para otros usos, la dotación varía drásticamente: en oficinas se calcula a razón de 6 L/d por m² de área útil, mientras que en hospitales se requieren 800 L/d por cama.

Diseño de Cisternas y Tanques Elevados

Cuando la presión de la red pública es insuficiente para abastecer directamente los niveles superiores, se emplean sistemas indirectos con cisternas y tanques elevados. La Norma IS.010 prescribe que, en estos casos, el volumen de almacenamiento total debe ser al menos igual a la dotación diaria.

La distribución recomendada de este volumen es:

1. **Cisterna (Depósito bajo):** 75% (o 3/4) del volumen total.
2. **Tanque Elevado:** 25% (o 1/3) del volumen total.

Nota: Algunas interpretaciones locales, como la NEC-11, sugieren proporciones de 60/40, pero el objetivo es siempre mantener una reserva operativa que compense las horas de bajo bombeo y los picos de consumo.

Redes de Agua Caliente y Sistemas de Retorno

El diseño de agua caliente sigue la misma lógica del método de Hunter para la determinación de caudales, pero introduce variables adicionales relacionadas con la expansión térmica y el mantenimiento de la temperatura.

Dotación de Agua Caliente

Al igual que el agua fría, la dotación de agua caliente es una fracción de la dotación total diaria. En residencias multifamiliares, se estima en 150 L por cada departamento de un dormitorio y aumenta proporcionalmente.

Distribución y Recirculación

En edificios grandes (hoteles, hospitales o departamentos de lujo), la distancia entre el calentador central y el punto de uso puede ser significativa. Para evitar que el usuario deba esperar minutos a que llegue el agua caliente, se diseñan sistemas de retorno con bombas de circulación que mantienen el agua en constante movimiento y a una temperatura mínima de 45°C a 50°C. Las tuberías de agua caliente deben estar aisladas térmicamente para minimizar las pérdidas de energía hacia el ambiente y evitar el sobrecalentamiento de los ductos sanitarios (Municipalidad de Lima, 2020).

Futuro del Diseño Hidráulico: Hacia la Digitalización y la IA

La ingeniería hidráulica está transitando de las tablas estáticas hacia modelos dinámicos integrados en procesos BIM (Building Information Modeling).

Integración con BIM y Revit

Herramientas como Autodesk Revit permiten automatizar la aplicación del método de Hunter. Al modelar los aparatos sanitarios y asignarles sus UG respectivas, el software puede realizar el cálculo de caudales, la selección de

diámetros y la verificación de presiones en tiempo real. Esto reduce drásticamente los errores humanos de transcripción y permite iterar diseños para encontrar la solución más eficiente.

Sensores y Análisis de Datos en Tiempo Real

El futuro del método de Hunter probablemente vendrá de la mano del Big Data. La instalación de medidores inteligentes en edificios modernos está permitiendo recolectar datos masivos sobre cómo se consume el agua en la actualidad. Estos datos permitirán ajustar los parámetros de t , T y q de Hunter con una precisión local, creando "curvas de diseño personalizadas" para diferentes ciudades, climas y perfiles socioculturales.

Síntesis de la Aplicación del Método Hunter en la Ingeniería Civil

El método de los gastos probables de Roy B. Hunter representa un triunfo de la aplicación de la ciencia estadística a la vida cotidiana. A pesar de los cambios tecnológicos, su lógica de gestión del riesgo y probabilidad sigue siendo la herramienta más robusta para el diseño de infraestructura sanitaria en edificaciones.

La responsabilidad del ingeniero moderno radica en entender que las tablas normativas son guías de mínimos, pero que el juicio profesional debe prevalecer para evitar el sobredimensionamiento, garantizando no solo que el agua llegue a su destino con presión, sino que lo haga de manera segura, higiénica y económica. La transición hacia métodos más precisos como el

Water Demand Calculator y la integración con herramientas digitales son los próximos pasos lógicos para una disciplina que, desde 1940, ha garantizado la salud y el confort en nuestras ciudades.

Conclusión

La industria de las instalaciones sanitarias ha evolucionado hacia materiales más duraderos y técnicas constructivas que minimizan el impacto ambiental. La transición desde el hierro y el plomo hacia polímeros avanzados ha mejorado significativamente la calidad del agua transportada al eliminar la corrosión interna.

En Perú, la preferencia por tuberías de PVC con fabricación amigable con el medioambiente y certificaciones de calidad como ISO 9001 está en aumento. El Polipropileno Copolímero Random (PPR) se ha consolidado como una opción superior para redes de agua fría y caliente debido a su técnica de unión por termofusión, que crea juntas moleculares estancas y resistentes a altas temperaturas, superando a los sistemas roscados o cementados en términos de longevidad.

Desde la perspectiva de la ingeniería de procesos, el uso de variadores de frecuencia (VFD) en sistemas multibomba es la innovación con mayor impacto en el ahorro de costos operativos.²³ Los VFD no solo reducen el consumo eléctrico al evitar el arranque brusco de motores (picos de corriente), sino que también prolongan la vida útil de los equipos al mitigar el estrés térmico y mecánico. En sistemas con cargas variables, la capacidad de la bomba de trabajar a velocidades reducidas durante la noche o períodos de baja ocupación se traduce en un funcionamiento más silencioso y respetuoso con el medio ambiente.

La evolución tecnológica ha permitido que los sistemas de abastecimiento indirecto de agua evolucionen desde esquemas basados exclusivamente en depósitos de gravedad hacia redes inteligentes de mayor

complejidad, capaces de monitorizar el consumo en tiempo real y regular la presión mediante el uso de variadores de frecuencia. No obstante, el principio esencial de estos sistemas —garantizar un volumen de reserva que asegure la continuidad del servicio ante interrupciones del suministro externo— se mantiene plenamente vigente.

En síntesis, el almacenamiento no cumple únicamente una función de regulación hidráulica del caudal, sino que actúa como un amortiguador estratégico frente a contingencias operativas de la entidad prestadora de servicios de saneamiento (EPS), permitiendo que las actividades críticas de la edificación no se vean afectadas por fallas temporales en la red pública.

Por ende, la selección de la tipología más adecuada de un sistema de abastecimiento indirecto constituye, por tanto, una decisión de ingeniería que debe sustentarse en un análisis integral de variables técnicas y económicas, tales como la altura de la edificación, el costo y la disponibilidad de la energía eléctrica, el espacio arquitectónico disponible y la carga estructural admisible.

En conclusión, un sistema de abastecimiento indirecto suministra agua a través de depósitos intermedios, en vez de conectarse directamente a la red pública. Se utiliza en ciudades con presión hidráulica variable o en edificios demasiado altos para la capacidad de la red exterior.

Bibliografía

Barrera Romero, N.W. (2022). Métodos de estimación del caudal máximo probable de redes hidrosanitarias para edificaciones de oficinas de la ciudad de Potosí - Bolivia. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5630-5647. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3683

Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Alcantarillado sanitario*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro20.pdf>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM de 2017. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. 07 de junio de 2017. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Decreto supremo N° 011-2006 – Vivienda. Reglamento nacional de edificaciones. 2006. Decreto supremo N° 011-2006 – Vivienda. <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

Espinoza, G. (2001) *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental*. Santiago de Chile: Banco Interamericano de Finanzas (BID) y Centros de Estudios para el Desarrollo (CED)

Gormley, M., Kelly, D., Campbell, D., Xue, Y., & Stewart, C. (2021). Diseño de

sistemas de drenaje para edificios altos: limitaciones actuales e implicaciones para la salud pública. *Buildings*, 11 (2), 70. <https://doi.org/10.3390/buildings11020070>

Herrán-Sandoval, A. (2014). Tanques hidroneumáticos. Cálculo de la capacidad. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(4), 163-171. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v5n4/v5n4a11.pdf>

Herrero, J.H. (1969). *Manual De Bombas Centrifugas. Cálculo Construcción Y Aplicación*. Madrid: Editorial Alhambra

Malacalza, L. (2013). *Ecología y ambiente*. La Plata: AUGM Asociación de Universidades Grupo Montevideo & UNLP Universidad Nacional de La Plata. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/libro_ecologia_y_ambiente.pdf

Mera-Parra, C., & Benavides-Muñoz, H. M. (2025). Empirical Recalibration of Hunter's Method for Peak Flow Estimation in Institutional Buildings: A Pilot Study in Data-Scarce Contexts. *Water*, 17(22), 3233. <https://doi.org/10.3390/w17223233>

Ministerio de Salud. (2011). *Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D.S. N° 031-2010-SA*. Lima: Ministerio de Salud. https://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2004). *Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales*. Gobierno del

Perú, https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/saneamiento/_3_Parametros_de_dise_de_infraestructura_de_agua_y_saneamiento_CC_PP_rurales.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2012). *S.010 Instalaciones Sanitarias para Edificaciones DS N° 017-2012*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686408/IS.010%20Instalaciones%20Sanitarias%20para%20Edificaciones%20DS%20N%C2%B0%20017-2012.pdf?v=1641411343>

Ministerio de Vivienda, Saneamiento y Construcción. (2004). *Criterios para la selección de opciones técnicas y niveles de servicio en sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas rurales*. Gobierno del Perú, https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/saneamiento/_4_Criterios_seleccin_opciones_y_niveles_de_Servic_%20sistemas_de_agua_y_saneam_zonas_rurales.pdf

Municipalidad de Lima. (2020). *Reglamento único de administración del centro histórico de Lima*. https://limacap.org/normatividad-2019/centros-historicos-2020/REGLAMENTO_ORD.2195-MML_08.12.2020.pdf

Ordenanza Municipal N.º Ordenanza Municipal N.º 2200 13.12.2019. Ordenanza que aprueba el régimen de aplicación de sanciones administrativas y el cuadro de infracciones y sanciones administrativas de la Municipalidad Metropolitana de Lima. 13 de diciembre de 2019. Ordenanza Municipal N.º Ordenanza Municipal N.º 2200 13.12.2019. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2562544/ordenanza-nro-2200.pdf.pdf?v=1638477093>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). *Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado*. Lima: OPS.

<https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/418.pdf>

Pedroza, E. (2018). *Hidráulica básica: historia, conceptos previos y ecuaciones*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/hidraulica/Libro-hidraulica-basica.pdf

Salas, H., Quispe, H., Soto, J., & Jurado, V. (2023). Diseño de redes de distribución de abastecimiento de agua utilizando métodos racionales complejos e inteligencia artificial en Callqui Grande-Huancavelica. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 3(1), 12–26. <https://doi.org/10.54943/ricci.v3i1.221>

Su, T.M., Yang, S.C., Shih, S.S. & Lee, H.Y. (2009). Optimal design for hydraulic efficiency performance of free-water-surface constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 35, 1200- 1207

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. (2025, 27 de mayo). Sunass: municipios deben promover limpieza de reservorios de agua potable en hogares, mercados y comercios. *Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/1176089-sunass-municipios-deben-promover-limpieza-de-reservorios-de-agua-potable-en-hogares-mercados-y-comercios>

Tilley E., Ulrich L., Lüthi C., Reymond P., Schertenleib R., Zurbrügg C. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. Dübendorf: Swiss

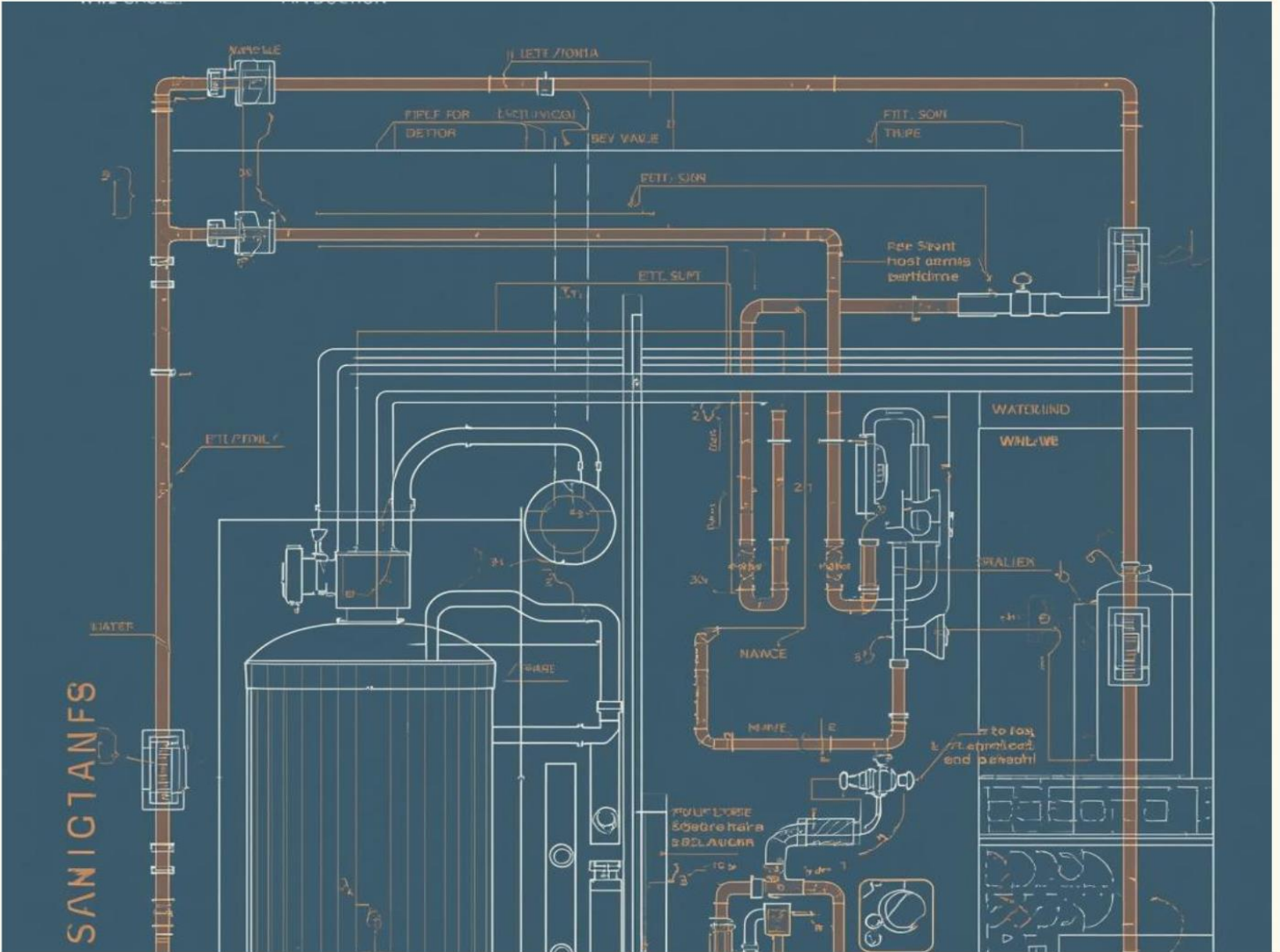
Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
https://www.academia.edu/58207205/Compendio_sistemas_y_tecnolog%C3%ADas_de_saneamiento

Usón, A., Boixadera, J., & Martín, A.E. (2010). Tecnología de suelos: Estudio de casos. Lérida : Edicions de la Universitat de Lleida.
<https://zaguan.unizar.es/record/170133/files/BOOK-2026-264.pdf?version=1>

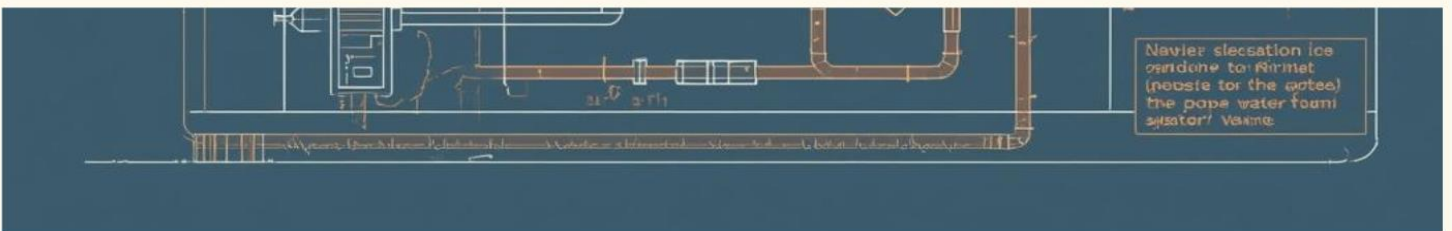
Werner, T.M. & Kadlec, R.H. (1996). Application of residence time distributions to stormwater treatment systems, *Ecological Engineering*, 7, 213-234

De esta edición de *“Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de agua”*, se terminó de editar en la ciudad de Colonia del Sacramento en la República Oriental del Uruguay el 12 de marzo de 2026

EDGAR GUSTAVO SPARROW ALAMO - LUIS CARLOS CALDERÓN RODRÍGUEZ - JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS -
SHARON TATIANA ASENCIO MEJIA - JOEL ALEJANDRO QUEZADA CASTILLO - ULISES OCTAVIO IRIGOIN CABRERA



Instalaciones sanitarias de sistemas indirectos de agua



ISBN: 978-9915-698-84-7



EDITORIAL MAR CARIBE
www.editorialmarcaribe.es