

CAMBIO DE PARADIGMA EN EL USO DE TRAMPAS HIDRÁULICAS Y VENTILACIÓN EN EL ALCANTARILLADO DOMICILIARIO EN BOLIVIA

Dante Benjamín Osinaga Torrez ¹

1. Carrera de Arquitectura, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia
dbosinaga@umsa.bo | ORCID: 0000-0002-9734-2108

RESUMEN

En el presente trabajo se examina la evolución histórica de los sistemas de alcantarillado sanitario domiciliario y su relación con la ingeniería sanitaria en edificaciones, con énfasis en la evacuación del sulfuro de hidrógeno (H_2S). Se analiza el estado actual de las instalaciones sanitarias en Bolivia, identificando deficiencias en la aplicación del Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias (RNISD 2011), en particular las incorporaciones erróneas del sistema de ventilación y el uso inadecuado de trampas hidráulicas. Mediante una revisión bibliográfica actualizada (2010–2026) de artículos internacionales indexados, normas técnicas vigentes y comparaciones con sistemas aplicados en países de Latinoamérica, Europa y Norteamérica, se establecen tablas y análisis comparativos de los sistemas monotubo, monobajante y bitubos. Se concluye con la presentación de dos alternativas de sistema monotubo aplicables a Bolivia, y se enfatiza la importancia de incorporar válvulas de aireación (AAV) y ramales de ventilación individuales para garantizar la integridad de las trampas hidráulicas y la calidad del aire interior en edificaciones.

Palabras clave: Trampas hidráulicas, Ingeniería sanitaria, Alcantarillado domiciliario, Ventilación, H_2S , Bolivia.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alcantarillado domiciliario constituyen una de las infraestructuras fundamentales de la ingeniería sanitaria en edificaciones. Su correcto diseño e instalación inciden directamente en la calidad del aire interior, la salud de los ocupantes y la durabilidad de las instalaciones. En particular, la gestión del *sulfuro de hidrógeno* (H_2S), gas producido en condiciones anaeróbicas dentro de las tuberías de aguas residuales, representa un desafío técnico de primera importancia.

El H_2S es un gas incoloro, inflamable y extremadamente tóxico. A concentraciones superiores a 100 ppm produce parálisis olfatoria, lo que elimina la capacidad del ser humano de detectarlo por el olfato (Guidotti, 2023). Exposiciones crónicas a bajos niveles —inferiores a 0,03 ppm— se han asociado con efectos neurológicos, oculares y respiratorios (Guidotti, 2023; Austigard et al., 2023). Adicionalmente, el H_2S es responsable de una fracción significativa de la corrosión de la infraestructura de alcantarillado, al reaccionar con la humedad de las paredes de las tuberías generando ácido sulfúrico (Sauermann Group, 2023).

Bolivia aplica el Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias (RNISD, VAPSB 2011) como marco normativo para el diseño de estos sistemas. Sin embargo, como señala Osinaga-Torrez (presente artículo), dicho reglamento ha sido interpretado de manera deficiente, generando instalaciones con mezcla inadecuada de sistemas y trampas hidráulicas que, con el tiempo, se ven comprometidas por la acumulación de gases.

A nivel internacional, la investigación en sistemas de drenaje de edificios ha experimentado un impulso significativo en la última década. Gormley et al. (2021) demostraron que las guías de diseño actuales solo cubren edificios de hasta 30 plantas, mientras que los edificios modernos superan con frecuencia los 100 pisos. Stewart et al. (2021) desarrollaron modelos hidráulicos en estado estacionario para redes de drenaje en edificios de gran altura. Xu et al. (2023) investigaron experimentalmente el rendimiento hidráulico del colector horizontal principal. Estos avances contrastan con la situación boliviana, donde la normativa data de 2011 y presenta vacíos técnicos importantes.

El presente artículo tiene como objetivos: (1) revisar la evolución histórica de los sistemas de alcantarillado domiciliario; (2) analizar los fundamentos técnicos de las trampas hidráulicas y la ventilación; (3) comparar los sistemas normalizados a nivel internacional con el sistema aplicado en Bolivia; y (4) proponer alternativas de mejora basadas en la bibliografía científica actualizada (2010–2026).

2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL ALCANTARILLADO DOMICILIARIO

2.1. ANTECEDENTES: DE LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES AL SIGLO XIX

Las primeras evidencias de sistemas de saneamiento habitacional se remontan a aproximadamente 2.000 a.C. en Mohenjo-Daro (valle del Indo), donde viviendas humildes contaban ya con baños y desagües (Bridgman & Institution, 2014). En el occidente antiguo, los minoicos de Creta desarrollaron baños lujosos alrededor de 1.700 a.C. Roma (siglo IV d.C.) incorporó retretes comunitarios de piedra con canales de agua corriente.

En Latinoamérica, los ingenieros incas construyeron sofisticados sistemas de canales en Cuzco (siglo XV), con zanjas revestidas de piedra y pozos de aguas calientes exclusivos para la realeza (Somervill, 2009). En contraste, la Europa medieval (siglos V–XV) retrocedió considerablemente en materia de higiene. Las actividades de eliminación se realizaban en recipientes que luego se arrojaban a la calle, lo que al grito de "*¡agua va!*" contaminaba el entorno urbano (Laporte, 2002).

El inventor John Harington diseñó en 1596 el primer inodoro de cisterna, instalado en el Palacio de Richmond (Bridgman & Institution, 2014; Farndon, 2018). Sin embargo, su adopción masiva no se produjo hasta la Gran Exposición de 1851. En 1775, el escocés Alexander Cummings resolvió el problema de los malos olores mediante una trampa de agua en forma de S, que impedía el retroceso de gases (Farndon, 2018). A mediados del siglo XIX, la industrialización impulsó la construcción de redes de alcantarillado público.

En Bolivia, la ciudad de Potosí fue la primera en contar con alcantarillado público durante la colonia (Capra Jemio, 1998). La Paz amplió su red en 1918, y entre 1913 y los años 1940 se construyó el embovedado del río Choqueyapu, proyecto del arquitecto-ingeniero Emilio Villanueva (Bustillos et al., 2017).

2.2. EL SISTEMA MONOBAJANTE: ORIGEN Y DESARROLLO

A finales del siglo XIX, la incorporación del baño como ambiente interior de la vivienda exigió soluciones de evacuación de aguas residuales. El primer sistema empleado fue el monobajante: un único tubo vertical que conducía los residuos directamente a la alcantarilla o pozo ciego, frecuentemente sin trampas hidráulicas en los artefactos (Wise & Swaffield, 2012). Esta solución generaba constantes problemas de malos olores y, con el tiempo, acumulación de H_2S en el interior de los edificios.

Investigaciones recientes han retomado el sistema monobajante para su aplicación en edificios de gran altura. Gormley et al. (2021) documentaron que, mediante el uso de dispositivos en los

puntos de unión (como el sistema Sovent o accesorios aerodinámicos), el sistema monobajante puede emplearse en edificios de hasta 30 plantas, con un ahorro de costos de instalación de hasta el 40% respecto al sistema monotubo convencional. Stewart y Gormley (2023) propusieron metodologías de dimensionamiento específicas para columnas de drenaje y líneas de ventilación en edificios de gran altura.

2.3. EL SISTEMA MONOTUBO Y EL SISTEMA BITUBOS

Para mitigar los problemas de olores y contaminación, a finales del siglo XIX se incorporaron tuberías de ventilación adicionales. El sistema bitubos separaba la descarga del inodoro de la de otros artefactos en dos bajantes distintas. Aunque resolvió algunos problemas, su costo era elevado y su adopción fue limitada (Wise & Swaffield, 2012).

El sistema monotubo —una bajante para aguas residuales más una tubería de ventilación dedicada— se convirtió en el estándar en gran parte del mundo durante el siglo XX, especialmente en EE.UU. (Wise & Swaffield, 2012). La norma BS EN 12056 del Reino Unido y el International Plumbing Code (IPC 2021) actualizan los criterios de diseño de este sistema. Investigaciones recientes (Guan et al., 2020; Xu et al., 2023) han profundizado en el efecto del diámetro del tubo de ventilación y el desempeño hidráulico del colector horizontal sobre la estabilidad de la presión de aire en el sistema.

3. TRAMPAS HIDRÁULICAS Y SISTEMAS DE VENTILACIÓN: FUNDAMENTOS TÉCNICOS ACTUALIZADOS

3.1. FUNCIÓN Y TIPOS DE TRAMPAS HIDRÁULICAS

La trampa hidráulica es el elemento central del saneamiento domiciliario. Consiste en un tramo de tubería curvada en el que queda retenida una columna de agua tras cada descarga; esta columna actúa como sello que impide el paso de gases hacia el interior del edificio (Grondzik et al., 2011). La integridad del sello depende de que la presión en la tubería de aguas residuales no supere ciertos límites: fluctuaciones negativas (sifón) o positivas (contrapresión) pueden romperlo.

Gormley et al. (2021) señalan que las guías de diseño actuales protegen los sellos de trampa ante presiones de succión superiores a -375 N/m^2 . Las fluctuaciones de presión son función del caudal de descarga, el diámetro de las tuberías y la altura del edificio. En edificios de gran altura (más de 30 plantas), las presiones positivas generadas por el flujo descendente pueden ser suficientes para romper sellos de trampa en plantas inferiores (Liao et al., 2011; Gormley & Kelly, 2018).

En Latinoamérica se distinguen dos grandes categorías de trampas hidráulicas:

- Trampas unidireccionales (sifón en P, registro sanitario): conectan un único artefacto a la bajante; comunes en México, Perú y Chile.
- Trampas multidireccionales (caja interceptora o bote sifónico, Cal): reciben la descarga de varios artefactos; comunes en Bolivia, Brasil, Argentina, Colombia y España.

Ambos tipos pueden coexistir en un mismo sistema; sin embargo, su combinación sin la ventilación adecuada genera zonas de estancamiento de aire que favorecen la rotura del sello hidráulico (RNISD, VAPSB 2011; Wise & Swaffield, 2012).

3.2. EL H₂S Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD Y LA INFRAESTRUCTURA

El H₂S se genera en las tuberías de alcantarillado cuando las condiciones anaeróbicas permiten la acción bacteriana sobre la materia orgánica (Nogué et al., 2007). Al ser más pesado que el aire, se acumula en las partes bajas de las conexiones y en espacios con escasa circulación de aire. La Tabla 1 sintetiza sus efectos sobre la salud en función de la concentración, actualizada con bibliografía reciente.

Tabla 1. Efectos del H₂S sobre la salud en función de la concentración

CONCENTRACIÓN (PPM)	EFFECTO SOBRE LA SALUD	REFERENCIA
0.001 – 0.03	Efectos oculares, nasales y respiratorios detectables	Guidotti, 2023 (PMC)
1 – 5	Olor detectable a huevo podrido; irritación leve	OSHA / Austigard et al., 2023
10	Límite de exposición OSHA (10 min); irritación de mucosas	OSHA / Austigard et al., 2023
20	Límite permisible OSHA (8 h); conjuntivitis	GBA Team, 2025
50 – 100	Cefalea intensa, mareos, pérdida de coordinación	Omega Environmental, 2023
100+	Parálisis olfatoria; riesgo inmediato de muerte	NIOSH; Guidotti, 2023
500 – 1000	Pérdida de conciencia en 1-2 respiraciones; letal	Austigard et al., 2023

Fuente: Elaboración propia basada en Guidotti (2023); Austigard et al. (2023); OSHA; GBA Team (2025); Omega Environmental (2023).

Desde el punto de vista de la infraestructura, el H₂S reacciona con la humedad de las paredes de las tuberías generando ácido sulfúrico, responsable de la corrosión del concreto y del acero

galvanizado. En EE.UU. se estima que este proceso implica costos de rehabilitación superiores a USD 3.000 millones anuales (Sauermaann Group, 2023).

3.3. VÁLVULAS DE AIREACIÓN (AAV) COMO SOLUCIÓN CONTEMPORÁNEA

Las válvulas de aireación (Air Admittance Valves, AAV) son dispositivos mecánicos que se abren bajo presión negativa para admitir aire en el sistema de drenaje, evitando la sifonación del sello hidráulico, y se cierran herméticamente bajo presión cero o positiva para impedir el escape de gases (ICC / IPC, 2021). Su adopción masiva ha permitido importantes ahorros en costos de instalación al eliminar la necesidad de tuberías de ventilación que atraviesen la cubierta del edificio (ICC Code Notes, 2021).

Las AAV deben cumplir con las normas ASSE 1050 (tipo individual) y ASSE 1051 (tipo ramal). El IPC 2021 (sección 918) y el IRC 2021 (sección P3114) regulan su instalación; en particular, cada edificio debe contar con al menos una tubería de ventilación abierta al exterior para alivio de presiones positivas (IPC, sección 918.7). Xue et al. (2021) modelaron el comportamiento de sistemas de drenaje en edificios medianos con AAV y ventilación cruzada, concluyendo que la combinación óptima depende del número de pisos y de la densidad de conexiones por planta.

En Bolivia, el RNISD (VAPSB 2011) menciona las válvulas de aireación, pero no establece criterios de instalación alineados con las normas internacionales vigentes, lo que deja un vacío normativo que afecta la calidad de las instalaciones.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO: SISTEMAS APLICADOS A NIVEL INTERNACIONAL

4.1. TABLA COMPARATIVA DE SISTEMAS Y NORMATIVAS

La Tabla 2 presenta una comparación de los sistemas de alcantarillado domiciliario en diferentes países y las normas que los rigen, incluyendo la situación actual de Bolivia.

Tabla 2. Comparación de sistemas de alcantarillado domiciliario y normativas internacionales

PAÍS / NORMA	SISTEMA PREDOMINANTE	TRAMPA HIDRÁULICA	VENTILACIÓN REQUERIDA	AÑO VIGENTE
Bolivia (RNISD)	Mixto (monotubo + caja interceptora)	Multidireccional (Cal)	Parcial / mal aplicada	2011
EE.UU. (IPC)	Single-stack / wet vent /	P-trap individual	AAV o vent stack	2021

	AAV			
Reino Unido (BS EN 12056)	Single stack / primary vented	Trap individual	AAV o stack vent	2000 / rev. 2023
Australia (AS/NZS 3500)	Single stack / vented	P-trap individual	Stack vent obligatoria	2018
España / Europa (EN 12056)	Sistema monotubo primario	P-trap individual	Vent stack / AAV	2000 / rev. 2022
Perú / México	Monotubo con sifón individual	Unidireccional (registro)	Ramal individual	Variable
Argentina / Colombia	Mixto con bote sifónico	Multidireccional	Ramal centralizado	Variable

Fuente: Elaboración propia basada en RNISD (VAPSB, 2011); IPC (ICC, 2021); BS EN 12056 (BSI, 2000/rev.); AS/NZS 3500:2018; Wise & Swaffield (2012); Gormley et al. (2021).

4.2. TABLA COMPARATIVA DE LAS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS

La Tabla 3 sintetiza las principales características técnicas de los tres sistemas fundamentales de alcantarillado domiciliario, con referencias a investigaciones internacionales recientes que respaldan cada criterio.

Tabla 3. Características técnicas comparativas de los sistemas de alcantarillado domiciliario

CARACTERÍSTICA	MONOBAJANTE	MONOTUBO	BITUBOS
N.º de tuberías principales	1	2	2
Ventilación	Integrada en bajante	Tubo dedicado	Tubo dedicado
Trampa hidráulica recomendada	Sin trampa en artefacto	Unidireccional (sifón)	Unidireccional/multi
Aplicabilidad (pisos)	Hasta 30 p. c/ dispositivo	Hasta 5 p. sin dispositivo	Sin límite definido
Costo relativo de instalación	Bajo (ahorro hasta 40%)	Medio	Alto
Uso en Bolivia (RNISD 2011)	Parcial (mal interpretado)	Predominante	Escaso
Norma internacional ref.	BS EN 12056 / IPC 2021	ASPE PEDH Vol.2 / IPC 2021	BS EN 12056

Investigaciones recientes (2015-2024)	Gormley et al. 2021; Stewart et al. 2021	Xu et al. 2023; Guan et al. 2020	Wise & Swaffield 2012
--	---	----------------------------------	-----------------------

Fuente: Elaboración propia basada en Wise & Swaffield (2012); Gormley et al. (2021); Stewart et al. (2021); Xu et al. (2023); Guan et al. (2020); IPC (ICC, 2021); RNISD (VAPSB, 2011).

4.3. TENDENCIAS Y APORTES DE LA INVESTIGACIÓN RECIENTE (2010–2026)

La Tabla 4 presenta una síntesis de las contribuciones bibliográficas internacionales más relevantes para el tema, comprendidas entre 2010 y 2026.

Tabla 4. Bibliografía internacional actualizada (2010–2026) relevante para el tema

AUTOR(ES)	AÑO	TIPO	APORTE PRINCIPAL AL TEMA
Gormley, Kelly, Campbell et al.	2021	Artículo (<i>Buildings, MDPI</i>)	Diseño de sistemas de drenaje en edificios de altura; limitaciones actuales e implicaciones en salud pública
Stewart, Gormley, Xue et al.	2021	Artículo (<i>Buildings, MDPI</i>)	Análisis hidráulico en estado estacionario de redes de drenaje en edificios de gran altura
Xu, Fu & Song	2023	Artículo (<i>J. Hydroinformatics</i>)	Rendimiento hidráulico del colector horizontal principal en sistemas de drenaje de edificios
Guan, Fang, Tang & Yuan	2020	Artículo (<i>J. Pipeline Systems</i>)	Influencia del diámetro del tubo de ventilación en la capacidad de descarga del sistema de circuito de ventilación
Austigard, Smedbold & Svendsen	2023	Artículo (<i>Ann. Work Exp. Health</i>)	Caracterización del riesgo de exposición al H ₂ S en trabajos de recolección y tratamiento de aguas residuales
Guidotti T.L.	2023 (PMC)	Artículo de revisión	Revisión de efectos de exposición crónica y a bajos niveles de H ₂ S provenientes de fuentes naturales y antropogénicas
Gormley & Kelly	2018	Artículo (<i>Build. Res. Inf.</i>)	Supresión de transitorios de presión en sistemas de drenaje de edificios de gran altura
Gormley, Aspray & Kelly	2021b	Artículo (<i>Indoor Air</i>)	Aerosoles y bioaerosoles de sistemas de plomería sanitaria defectuosos
Wong, Mui, Cheng &	2021	Artículo (<i>Int. J. Env. Res.</i>)	Presión de aire positiva variable en el tiempo en

Leung			stacks de drenaje como vía de transmisión de patógenos (COVID-19)
Gormley & Stewart	2023	<i>Artículo (Buildings, MDPI)</i>	Metodologías de diseño para el dimensionamiento de columnas de drenaje y líneas de ventilación en edificios de gran altura
Borgen Project / OPS	2023	<i>Informe institucional</i>	Déficit de saneamiento en América Latina; Bolivia: comunidades peri-urbanas sin red de alcantarillado
Frontiers in Water / Alvarez et al.	2024	<i>Artículo científico</i>	Prioridades de regulación del servicio rural de agua y saneamiento en América Latina; experiencias de Bolivia, Perú y Colombia
IADB	2020	<i>Informe / Documento público</i>	El desafío de la última milla en servicios de alcantarillado en ALC; campaña educativa en El Alto, Bolivia

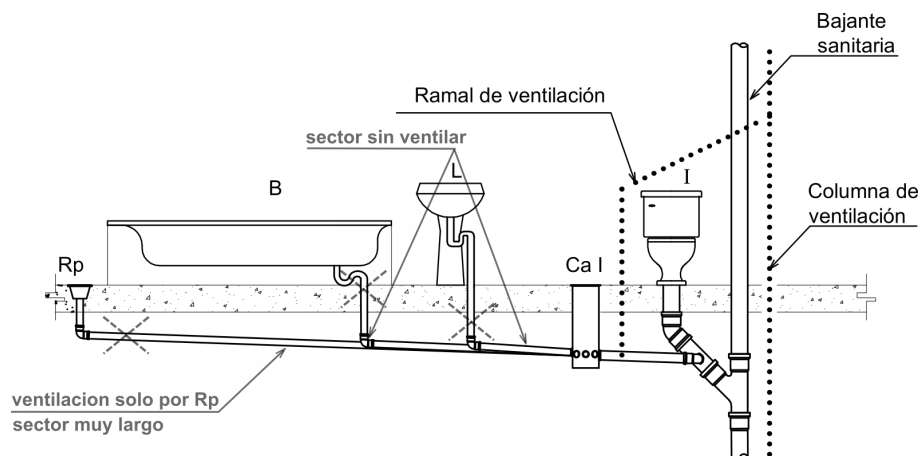
Fuente: Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

5.1. PROBLEMÁTICA DE LAS INSTALACIONES EN BOLIVIA

El análisis comparativo evidencia que las instalaciones sanitarias en Bolivia presentan deficiencias estructurales vinculadas a tres factores: (1) interpretación errónea del RNISD 2011 respecto a la distancia máxima trampa–bajante; (2) uso simultáneo de trampas unidireccionales y multidireccionales sin la ventilación auxiliar requerida; y (3) ausencia de criterios actualizados que incorporen los avances de la investigación internacional.

Figura 1. Conexiones de ventilación y trampa multidireccional común en Bolivia



Fuente: Elaboración propia en base al RNISD

La distancia máxima planteada en el RNISD (página 188) es tomada del Plumbing Engineering Design Handbook Vol. 2 (ASPE, 2006), pero su interpretación es incorrecta: el concepto original refiere a la prevención del ahogamiento de la lámina de agua en sistemas sin ramal de ventilación, no a sistemas con caja interceptora (Ca I). Al adoptar la Ca I (página 218 del RNISD), se requiere incorporar ramales individuales de ventilación por artefacto, o en su defecto AAV individuales, para garantizar la correcta circulación de aire (Wise & Swaffield, 2012; IPC, 2021).

La investigación de Guan et al. (2020) confirmó que aumentar el diámetro del tubo de ventilación mejora significativamente la estabilidad de las fluctuaciones de presión en el sistema, reduciendo el riesgo de rotura de sellos hidráulicos. Por su parte, Xu et al. (2023) demostraron que el salto hidráulico en el colector horizontal depende directamente del caudal y el diámetro de la tubería, pero no de la pendiente en el rango estudiado, lo que tiene implicaciones directas para el diseño de colectores en viviendas plurifamiliares bolivianas.

El impacto sanitario de estas deficiencias es relevante. Los edificios en Bolivia con instalaciones incorrectas presentan, en un tiempo relativamente corto de uso, problemas de malos olores por rotura de sellos hidráulicos. Dado que el H_2S , incluso en concentraciones bajas (0,001–0,03 ppm), produce efectos adversos sobre la salud (Guidotti, 2023), este problema trasciende la incomodidad olfativa y constituye un riesgo para la salud pública (Austigard et al., 2023).

5.2. RELEVANCIA DEL CONTEXTO LATINOAMERICANO

En el contexto regional, Bolivia muestra un déficit de cobertura de alcantarillado que afecta especialmente a las comunidades peri-urbanas (Borgen Project, 2023; IADB, 2020). Alvarez et al. (2024) identificaron la regulación técnica actualizada como una prioridad para mejorar los

servicios rurales y peri-urbanos de agua y saneamiento en la región. La campaña educativa implementada en El Alto (Bolivia) para promover la conexión domiciliaria al alcantarillado público (IADB, 2020) es un ejemplo de intervención que, para ser efectiva, requiere que las instalaciones internas cumplan con estándares técnicos adecuados.

La comparación con Perú y México —donde se aplica el registro sanitario individual en lugar de la caja interceptora— muestra que esos sistemas tienen menores probabilidades de generar errores de instalación, precisamente porque la función de cada componente es más transparente para el instalador. La adopción de criterios del IPC (2021) o del BS EN 12056 en futuras actualizaciones del RNISD boliviano permitiría reducir significativamente las deficiencias actuales.

5.3. APORTES DEL ARTÍCULO A LA INGENIERÍA SANITARIA EN EDIFICACIONES

El presente trabajo aporta a la ingeniería sanitaria en edificaciones bolivianas en los siguientes aspectos:

- Contextualización histórica y técnica: relaciona la evolución histórica de los sistemas con los principios técnicos actuales, facilitando la comprensión integral del problema.
- Marco comparativo actualizado: las Tablas 2, 3 y 4 constituyen una referencia sistemática de los sistemas internacionales y la bibliografía reciente (2010–2026) aplicable al contexto boliviano.
- Identificación de la causa raíz: se señala con precisión el origen del problema en la mala interpretación del RNISD, lo que permite orientar acciones correctivas concretas.
- Propuesta de alternativas: las dos configuraciones propuestas (con y sin Cal, con la ventilación adecuada) son aplicables en el contexto constructivo boliviano sin requerir tecnologías de alto costo.

6. CONCLUSIONES

El sistema monotubo constituye la mejor opción de alcantarillado sanitario domiciliario para Bolivia, aunque los sistemas monobajante y bitubos pueden aplicarse siempre que se adopten las medidas complementarias requeridas. La evidencia científica internacional acumulada entre 2010 y 2026 confirma y amplía los principios técnicos en los que se fundamenta esta recomendación.

En cuanto a la aplicación del sistema de ventilación en Bolivia:

- Con trampa multidireccional (Cal): se deben aplicar ramales de ventilación en todos los puntos muertos o con ausencia de circulación de aire, o instalar AAV individuales por

artefacto conforme al IPC 2021 (sección 918). La omisión de este requisito —frecuente en la práctica constructiva boliviana— constituye la principal causa de rotura de sellos hidráulicos y presencia de H₂S en los ambientes habitados.

- Con trampas unidireccionales y registro sanitario principal: se deben aplicar ramales de ventilación a la salida de todas las trampas hidráulicas. Este sistema tiene la ventaja de una lógica constructiva más clara, lo que reduce errores de instalación.

La actualización del RNISD (VAPSB, 2011) es urgente. Se recomienda que la nueva versión incorpore: (a) criterios de diseño del IPC 2021 o BS EN 12056 para sistemas AAV; (b) límites de concentración de H₂S en aire interior de edificios conforme a estándares OSHA/WHO; y (c) criterios específicos para edificios de más de cinco pisos, en línea con la investigación de Gormley et al. (2021) y Stewart & Gormley (2023).

El problema del H₂S en instalaciones domiciliarias bolivianas no es solamente un problema de malos olores: es un problema de salud pública que requiere atención normativa y técnica urgente, con base en la evidencia científica internacional disponible.

7. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Carrera de Arquitectura de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia, por el apoyo institucional para el desarrollo de investigaciones en ingeniería sanitaria aplicada.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Austigard, Å.D., Smedbold, H.T., & Svendsen, K. von H. (2023). Risk Characteristics of Hydrogen Sulphide Exposure in Wastewater Collection and Treatment Related Occupations. *Annals of Work Exposures and Health*, 67(2), 216–227. <https://doi.org/10.1093/annweh/wxac065>
- Alvarez, L., Vargas, L., & Jimenez, A. (2024). Priorities for the rural water and sanitation services regulation in Latin America. *Frontiers in Water*, 6, 1406301. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1406301>
- ASPE – American Society of Plumbing Engineers. (2006). *Plumbing Engineering Design Handbook, Volume 2: Plumbing Systems*. American Society of Plumbing Engineers.
- Bethell, L. (1990). *Historia de América Latina, Vol. 1: América Latina colonial*. Crítica, España.
- Borgen Project. (2023). *Poor Sanitary Infrastructure in Latin America: A Driver of Poverty*. Recuperado de <https://borgenproject.org/sanitary-infrastructure-in-latin-america/>
- Bridgman, R., & Institution, S. (2014). *1000 Inventions and Discoveries*. DK Publishing.

- BSI – British Standards Institution. (2000). BS EN 12056-2:2000. Gravity Drainage Systems inside Buildings. Sanitary Pipework, Layout and Calculation. BSI, London.
- Bustillos, A., Diaz, J., & Machaca, V.H. (2017). El río Choqueyapu y el alcantarillado de la ciudad de La Paz (1913–1977). *Historia*, (38).
- Capra Jemio, G. (1998). Ingeniería Sanitaria, Alcantarillado Sanitario y Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales (2ª ed.). Molina y Asociados.
- Farndon, J. (2018). *Inventions: A Visual Encyclopedia*. DK Publishing.
- GBA Team. (2025). Navigating the Hazards of Hydrogen Sulfide. Recuperado de <https://www.gbateam.com/navigating-the-hazards-of-hydrogen-sulfide/>
- Gormley, M., & Kelly, D.A. (2018). Pressure transient suppression in drainage systems of tall buildings. *Building Research & Information*, 47(4), 421–436. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1475788>
- Gormley, M., Kelly, D., Campbell, D., Xue, Y., & Stewart, C. (2021). Building Drainage System Design for Tall Buildings: Current Limitations and Public Health Implications. *Buildings*, 11(2), 70. <https://doi.org/10.3390/buildings11020070>
- Gormley, M., Aspray, T.J., & Kelly, D.A. (2021b). Aerosol and bioaerosol particle size and dynamics from defective sanitary plumbing systems. *Indoor Air*, 31(5), 1427–1440. <https://doi.org/10.1111/ina.12818>
- Grondzik, W.T., Kwok, A.G., Stein, B., & Reynolds, J.S. (2011). *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings* (11ª ed.). John Wiley & Sons.
- Guan, Y., Fang, Z., Tang, Z., & Yuan, J. (2020). Influence of the vent pipe diameter on the discharge capacity of a circuit vent building drainage system. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000442](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000442)
- Guidotti, T.L. (2023). Low Level Exposure to Hydrogen Sulfide: A Review of Emissions, Community Exposure, Health Effects, and Exposure Guidelines. *PMC / Environmental Health Perspectives*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10395451/>
- IADB – Inter-American Development Bank. (2020). The Last Mile Challenge of Sewage Services in Latin America and the Caribbean. Recuperado de <https://publications.iadb.org/>
- ICC – International Code Council. (2021). *International Plumbing Code (IPC 2021)*. ICC Publishing, Country Club Hills, IL.

- ICC. (2021b). Installation of Air Admittance Valves – CodeNotes (Based on 2021 IPC / IRC). Recuperado de https://www.iccsafe.org/wp-content/uploads/23-22999_PMG_CodeNotes_Air-admittanceValve_FINAL_MIDRES.pdf
- IAPMO – International Association of Plumbing and Mechanical Officials. (2021). Uniform Plumbing Code. IAPMO, Ontario, CA.
- Laporte, D. (2002). History of Shit. MIT Press.
- Liao, W.J., Mui, K.W., Cheng, C.L., Wong, L.T., & He, K.C. (2011). Air Pressure Fluctuations of Drainage Stacks at a High-rise Office Building. *Indoor and Built Environment*, 20(5), 551–560. <https://doi.org/10.1177/1420326X11409602>
- Nogué, S., Sanz-Gallén, P., Vilchez, D., & Fernández-Solà, J. (2007). Secuelas neurológicas irreversibles causadas por una exposición al sulfuro de hidrógeno en un accidente laboral. *Revista de Toxicología*, 24(1), 45–47.
- Omega Environmental Services. (2023). Sewer Gas Exposure: Dangers of Hydrogen Sulfide. Recuperado de <https://www.omegaenv.com/environmental-consulting-firm-blog/dangers-of-hydrogen-sulfide-aka-sewer-gas/>
- Sanders, J. (2020). La evolución de los baños: Lecciones históricas para aspirar a un futuro con espacios seguros e inclusivos. Recuperado de <https://www.stalled.online/historicalcontext>
- Sauermann Group. (2023). The Toxic Effects of Hydrogen Sulfide (H₂S) Gas From Sewers. Recuperado de <https://sauermanngroup.com/en-US/application-notes/toxic-effects-hydrogen-sulfide-h2s-gas-sewers/>
- Somervill, B.A. (2009). Empire of the Inca. Great Empires of the Past Series. Facts On File, Incorporated.
- Standards Australia. (2018). AS/NZS 3500.1:2018. Plumbing and Drainage. Part 1: Water Services. Standards Australia, Sydney.
- Stewart, C., & Gormley, M. (2023). Design Methodologies for Sizing of Drainage Stacks and Vent Lines in High-Rise Buildings. *Buildings*, 13(6), 1458. <https://doi.org/10.3390/buildings13061458>
- Stewart, C., Gormley, M., Xue, Y., Kelly, D., & Campbell, D. (2021). Steady-State Hydraulic Analysis of High-Rise Building Wastewater Drainage Networks: Modelling Basis. *Buildings*, 11(8), 344. <https://doi.org/10.3390/buildings11080344>

- VAPSB – Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico. (2011). Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias (RNISD). MMAYA, Bolivia.
- Wise, A.F.E., & Swaffield, J. (2012). Water, Sanitary and Waste Services for Buildings (5ª ed.). CRC Press / Routledge.
- Wong, L.T., Mui, K.W., Cheng, C.L., & Leung, P.H.M. (2021). Time-Variant Positive Air Pressure in Drainage Stacks as a Pathogen Transmission Pathway of COVID-19. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11), 6068. <https://doi.org/10.3390/ijerph18116068>
- Xu, P., Fu, B., & Song, Y. (2023). Experimental study on the hydraulic performance of the horizontal main drain of building drainage systems with solid waste. *Journal of Hydroinformatics*, 25(5), 1844–1858. <https://doi.org/10.2166/hydro.2023.068>
- Xue, Y., Kelly, D., & Campbell, D. (2021). Steady-State Hydraulic Analysis of High-Rise Building Wastewater Drainage Networks: Modelling Basis. *Buildings*, 11(8), 344. <https://doi.org/10.3390/buildings11080344>