

## Comparación de los Sistemas Sanitarios por Gravedad y por Vacío

Carol E Ruiz Morales  
Ingeniería Civil  
Carlos González, Ph.D  
Departamento de Ingeniería Civil  
Universidad Politécnica de Puerto Rico

**Resumen** — Este artículo está enfocado en la evaluación y comparación de los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío. Ambos sistemas sanitarios son diferentes en diseño, construcción y funcionalidad. Los dos sistemas evaluados fueron diseñados bajo condiciones de sitio similares para comparar los costos de construcción de ambos sistemas. Se demostró que el sistema por gravedad es más conveniente y económico para condiciones normales de topografía y suelo donde las pendientes son adecuadas, la cantidad de roca y el nivel freático es bajo. El sistema sanitario por vacío es más conveniente y económico bajo condiciones de topografía con pendientes bajas, cantidades de roca excesiva y nivel freático alto.

**Términos Claves** – Gravedad, Pendiente, Sistema Sanitario, Vacío.

### INTRODUCCIÓN

En Puerto Rico tradicionalmente se han diseñado y construido sistemas de recolección de aguas usadas (sistemas sanitarios) que funcionan por gravedad. Estos sistemas han provisto la posibilidad de recoger las aguas usadas de las residencias, a través de tuberías que utilizan la gravedad para transportar los fluidos y llevarlos a las plantas de tratamiento sanitario. Por sus condiciones de diseño estos sistemas requieren que el sitio donde ubica el proyecto provea las pendientes naturales mínimas para funcionar, como se muestra en la Figura 1. La mayoría de los sectores bajos requieren estaciones de bombeo intermedias para poder recoger las aguas y llevarlas a los sectores más altos. La construcción de los sistemas de gravedad en sectores bajos presenta complejidades durante el proceso constructivo. Entre estas complejidades se encuentran: la necesidad de excavaciones profundas donde el

nivel freático es alto, necesidad de sistemas de desagüe de las trincheras “dewatering”; malas condiciones de suelo que requiere sistemas de estabilización de suelo. En la mayoría de las comunidades existentes se presentan limitaciones de espacio, que afecta la operación y movimiento de equipo en calles o callejones estrechos.

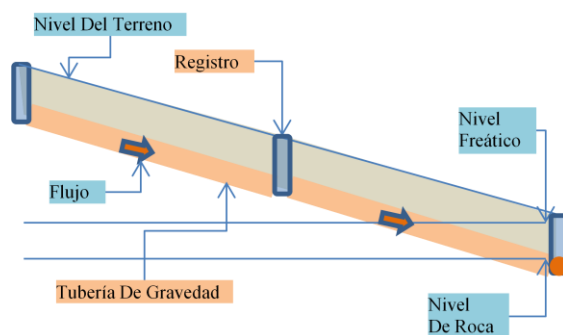


Figura 1

Sistema de Gravedad con Pendiente de Terreno Favorable

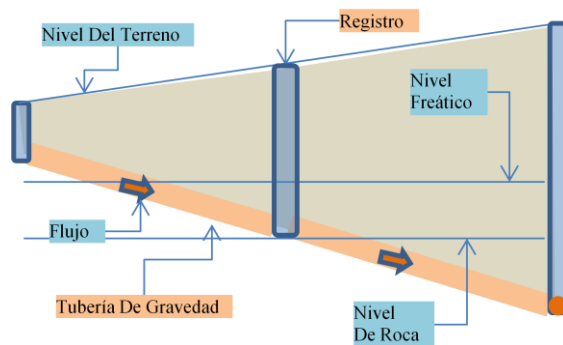


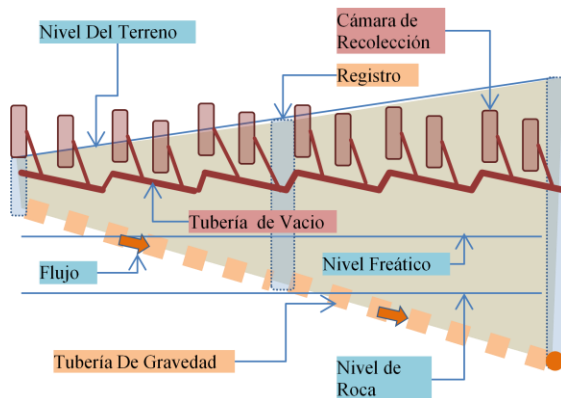
Figura 2

Sistema de Gravedad con Pendiente de Terreno no Favorable

Para los sectores donde la pendiente del terreno es opuesta a la pendiente de la tubería las excavaciones son excesivas, como se muestra en la Figura 2.

En aquellos sectores donde las condiciones del predio dificultan la construcción de los sistemas de gravedad, se está comenzando a implementar los sistemas de recolección de aguas usadas por vacío o

succión. Los sistemas sanitarios por vacío representan una alternativa a los sistemas tradicionales, ya que proveen la posibilidad de instalar y construir sistemas sanitarios en aquellos lugares donde no se habían considerado debido a los altos costos de la construcción. Los sistemas sanitarios por vacío representan una alternativa económica al reducir las complejidades de los sistemas sanitarios por gravedad requiriendo excavaciones menos profundas, reduciendo así los costos asociados a excavaciones, desaguado de trincheras, estabilización del terreno y tiempo de construcción. En la Figura 3, se observa la diferencia en profundidad del sistema sanitario por vacío y el de gravedad donde las excavaciones del sistema de gravedad son excesivas.



**Figura 3**  
**Sistema Sanitario por Vacío sobre perfil por Gravedad**

En los proyectos nuevos no existen las limitaciones de espacio y accesibilidad que tienen las comunidades existentes. En un proyecto nuevo el área puede ser restringida al acceso de vecinos, además que las excavaciones pueden ser trabajadas al ritmo normal de construcción. En comunidades existentes los espacios de trabajo son limitados y los trabajos diarios deben ser controlados constantemente para evitar el acceso de los vecinos. De esta forma un sistema sanitario debe ser seleccionado considerando su facilidad de diseño, construcción, el tiempo requerido de construcción y efecto de la construcción en los residentes de la comunidad.

Este artículo presenta un análisis comparativo de ambos sistemas bajo condiciones similares, con el fin de proveer un panorama al momento de seleccionar el sistema sanitario a ser instalado.

### Descripción

Este artículo está basado en la comparación de los sistemas sanitario por gravedad y por vacío. Se discute como las condiciones del lugar donde ubicará el proyecto son importantes al momento de seleccionar cual de los sistemas es el más recomendable; en base a costos y eficiencia. Se desarrolla el diseño del sistema sanitario utilizando ambos sistemas. Se presenta el análisis de los costos y el tiempo de construcción para cada sistema y se comparan los resultados. Se provee las ventajas y desventajas de cada sistema con relación a varios elementos. Se realizan recomendaciones para el momento del estudio del predio con el fin de identificar que elementos específicos se deben considerar para la selección del tipo de sistema sanitario a utilizarse.

### Objetivos

Este artículo proveerá asistencia en la evaluación del predio de un proyecto, dará las guías para determinar qué elementos se deben considerar como parte de la evaluación del mismo. Mediante la comparación de los métodos de construcción de los diferentes sistemas sanitarios, se podrá establecer cual sistema es más recomendable dependiendo de las condiciones del lugar a ser construido.

### Contribución

Este artículo servirá de guía en la evaluación del predio y la selección del sistema más conveniente a ser implementado, ayudara a comparar los costos de los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío.

## REVISIÓN DE LITERATURA

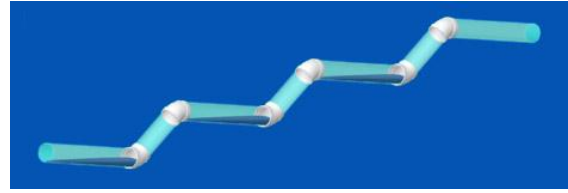
Las especificaciones técnicas de la Autoridad de Acueductos de Puerto Rico [2], incluyen los

estándares de diseño para sistemas sanitarios por gravedad.

- **Sistema de Alcantarillado Sanitario** – son todos los sistemas que tienen la capacidad para la recolección y el acopio de las aguas residuales, que son propiedad de la Autoridad, operados o controlados por ésta. El sistema de alcantarillado incluye estaciones de bombeo, líneas interceptoras, de recolección, laterales, de presión, colectoras y todos los accesorios y equipo necesarios.
- **Sistema de Alcantarillado Sanitario por Gravedad** – Este sistema es el sistema más utilizado y sencillo en sus componentes. Consta de tuberías colectoras que recogen las descargas y las acarrearán por gravedad (en caída) entre registros sanitarios de inspección hasta estaciones de bombeo y/o plantas de tratamiento.
- **Sistemas de Alcantarillado por Vacío** – Es un sistema que consta de una red de tuberías conectadas a una estación de vacío, conectadas a estas redes se encuentran las cámaras de recolección “valve-pit” instalados cerca de las residencias con capacidad aproximada de cuatro (4) residencias. Las cámaras de recolección contienen unidades de válvula de vacío. La descarga de la residencia fluye por gravedad desde la casa hasta la cámara de recolección. De esta cámara de recolección el flujo es succionado a las líneas principales de vacío y luego a la estación de vacío, como se muestra en las Figuras 4 y 5 [2].



**Figura 4**  
Ejemplo de Sistema Sanitario por Vacío



**Figura 5**  
Líneas Principales de Vacío Pendiente en Ascenso

Este sistema es apropiado cuando el declive del terreno no es suficiente como para permitir el flujo libre por gravedad, donde las residencias están diseminadas, el nivel freático es alto y deben realizarse las conexiones de residencias existentes al nuevo sistema.

## METODOLOGÍA

Para realizar la comparación de los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío, se escogerá un proyecto, se realizará el diseño de ambos sistemas sanitarios bajo las mismas condiciones del predio y se comparará los costos de ambos sistemas.

### Selección del Predio a Realizar Proyecto

Se seleccionó un proyecto arbitrario; con una distribución de doscientos (200) solares regulares con distribución uniforme, como se muestra en la Figura 6. El terreno es irregular como cualquier lugar en Puerto Rico y presumiendo que el proyecto se encuentra localizado cerca de un río.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
CALLE 1					CALLE 2					CALLE 2									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
CALLE 3					CALLE 4					CALLE 4									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
CALLE 5					CALLE 6					CALLE 6									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
CALLE 7					CALLE 8					CALLE 8									
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
CALLE 9					CALLE 10					CALLE 10									
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
CALLE 11					CALLE 12					CALLE 12									
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
CALLE 13					CALLE 14					CALLE 14									
131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
CALLE 15					CALLE 16					CALLE 16									
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
CALLE 17					CALLE 18					CALLE 18									
171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200

**Figura 6**  
Proyecto a ser Diseñado

## Diseño del Sistema Sanitario por Gravedad y por Vacío

Para el proyecto se realizó el diseño del sistema de sanitario tanto por gravedad como por vacío. Para cada uno de los sistemas se utilizó las especificaciones de diseño correspondientes.

Para el sistema por gravedad:

- Diámetro Mínimo de Tubería es 8" de diámetro
- Pendiente Mínima de Tubería es 0.30%
- La sección de Excavación Mínima es (1.2M de Profundidad X 0.6 M + diámetro).
- Cantidad de Registro es por cada 85 M y en cada cambio de dirección y/o interconexión.

Para el sistema por Vacío:

- Diámetro Mínimo de Tubería es 4" de diámetro
- Pendiente Mínima de Tubería es 0.20%
- La sección de Excavación Mínima es de 0.75 M de Profundidad X 0.6 M + diámetro de ancho.

Cantidad de Registro es por cada 4 unidades de vivienda.

En la Tabla 1 se muestran las presunciones utilizadas para realizar el diseño y hacer comparables los diseños.

**Tabla 1**  
**Presunciones para el Diseño del Sistema Sanitario**

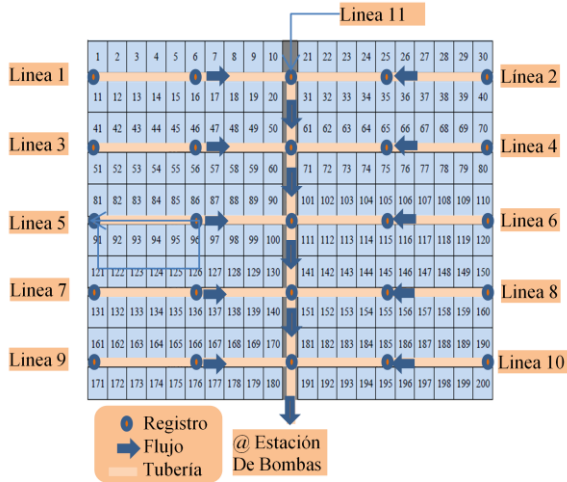
Elemento	Presunción	Comentario
Estación de vacío	Los costos relacionados a la estación de bombas de ambos sistemas es el mismo	
Ubicación Estación de Vacío	La ubicación de la estación de bombas es la misma	En el caso del sistema por vacío esta puede ubicarse a conveniencia y no en el punto más bajo
Punto de Conexión Sanitario	El punto de descarga del sistema será el mismo	

Elemento	Presunción	Comentario
Conexiones de Residencias	No se está considerando la elevación de las casas en este momento	En el caso de que las casas estén por debajo de la rasante de la carretera, la profundidad de las tuberías por gravedad será mayor.
Largo de Tuberías	Los largos de tuberías para ambos sistemas serán los mismos	
Roca	A partir de un metro de profundidad; el 30% de la excavación	
Nivel Freático	El agua se encuentra a dos (2) pies de profundidad	Se rellenara con piedra ¾ diámetro 6" sobre el nivel freático
Producción	60 pies de tubería por día	

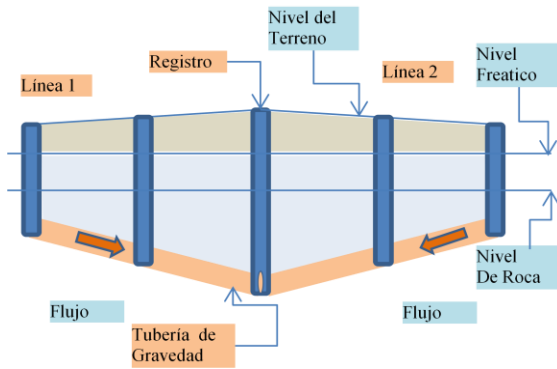
El predio se considera una comunidad arbitraria nueva o existente. El predio cuenta con diez (10) calles rectas que se encuentran en la calle principal, esta calle principal es el acceso al predio el cual también representa el punto de conexión del sistema sanitario, ya sea la estación de vacío o estación de bombeo.

Para el predio seleccionado se realizaron los correspondientes diseños que incluyen las plantas y perfiles de cada sistema con el fin de determinar los parámetros a ser comparados de cada diseño.

Las Figuras 7 y 8 presentan las plantas y los perfiles correspondientes a los esquemas de diseño del sistema de gravedad.

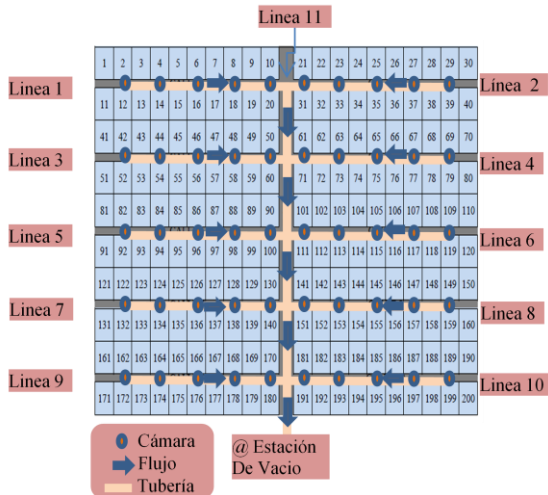


**Figura 7**  
Esquema del Diseño Sanitario por Gravedad

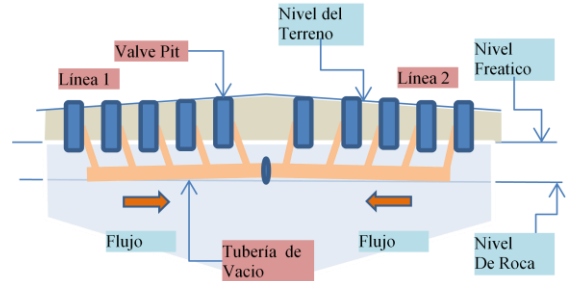


**Figura 8**  
Esquema de Perfil de Sistema Sanitario por Gravedad

Las Figuras 9 y 10 presentan las plantas y los perfiles correspondientes a los esquemas de diseño del sistema de vacío.



**Figura 9**  
Esquema Diseño Sanitario por Vacío



**Figura 10**  
Esquema de Perfil de Sistema Sanitario por Vacío

Los datos de diseño para cada uno de los sistemas se muestran en las Tablas 2 y 3.

**Tabla 2**  
Datos de Diseño Sistema Sanitario Gravedad

Calle #	Registro Cantidad	Diámetro Pulgadas	Largo M
1	2	8	122
2	2	8	122
3	2	8	122
4	2	8	122
5	2	8	122
6	2	8	122
7	2	8	122
8	2	8	122
9	2	8	122
10	2	8	122
21	10	12	311
<b>Total</b>	<b>30</b>		<b>1531</b>

**Tabla 3**  
Datos de Diseño Sanitario por Vacío

Calle #	Valve Pit Cantidad	Diámetro Pulgadas	Largo M
1	5	4	122
2	5	4	122
3	5	4	122
4	5	4	122
5	5	4	122
6	5	4	122
7	5	4	122
8	5	4	122
9	5	4	122
10	5	4	122
11	0	8	311
<b>Total</b>	<b>50</b>		<b>1,531</b>

Con los datos de largos de tuberías, cantidades de registros o cámaras “valve pits”, se utilizaron para calcular el estimado correspondiente de

cantidades para los diferentes tipos de excavaciones y rellenos. Las cantidades y resultados del diseño para cada sistema se presentan en las Tablas 4 y 5.

**Tabla 4**  
**Datos de Cantidades del Sistema Sanitario por Gravedad**

Sistema Sanitario por Gravedad		
Atraso por Excavación en Roca	100.05	días
Excavación Total	1,928.40	CM
Excavación Regular	1,728.30	CM
Excavación en Roca	100.05	CM
Relleno en agua Piedra 3/4"	1,360.78	CM
Relleno Regular	567.62	CM

**Tabla 5**  
**Datos de Cantidades de Sistema Sanitario por Gravedad**

Sistema Sanitario por Vacio		
Días Trabajo	76.55	Días
Excavación Total	1,215.92	CM
Excavación Regular	1,182.88	CM
Excavación en Roca	33.04	CM
Atraso por Excavación en Roca	16.52	Días
Relleno en agua Piedra 3/4"	718.31	CM
Relleno Regular	497.61	CM

Se estima que el progreso del trabajo incluyendo excavación, instalación y relleno será de sesenta (60) pies lineales por día.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con las cantidades obtenidas del diseño y con las presunciones establecidas se calcularon los costos para cada uno de los sistemas sanitarios, estos resultados se muestran en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6**  
**Cálculos de Costos de Construcción Sistema Sanitario por Gravedad**

Sistema Sanitario por Gravedad	
Costos Registros	\$ 150,000.00
Costo Instalación Tubería	\$ 58,621.44
Costo Excavación Regular	\$ 51,848.88
Costo Excavación en roca	\$ 30,015.74
Costo Drenaje (bomba)	\$ 7,064.10
Costo Relleno Trinchera bajo Nivel Freático	\$ 47,627.22
Costo Relleno Regular	\$ 8,514.35
Costo Atrasos	\$ 50,026.23
Total	\$ 403,717.95

**Tabla 7**  
**Cálculos de Costos de Construcción Sistema Sanitario por Vacio**

Sistema Sanitario por Vacio	
Costos VP	\$ 250,000.00
Costo Instalación Tubería	\$ 58,621.44
Costo Excavación Regular	\$ 35,486.37
Costo Excavación en roca	\$ 4,955.40
Costo Drenaje (bomba)	\$ 3,722.72
Costo Relleno Trinchera bajo Nivel Freático	\$ 25,140.76
Costo Relleno Regular	\$ 7,464.12
Costo Atrasos	\$ 8,259.00
Total	\$ 393,649.81

Comparamos la conveniencia de un sistema sobre otro basado en las condiciones de espacio, suelo y topografía del lugar de trabajo. Las comparativas son en cuanto a costos y tiempo de la construcción considerando los siguientes elementos: profundidad y ancho de las trincheras; instalación de tuberías y requerimientos de desaguado de trincheras. Se observa que para el sistema sanitario por gravedad los costos de registros y tuberías son más bajos debido a que la cantidad de registros es menor y el costo es más económico. Los costos de excavación y relleno dependen directamente de las profundidades de las tuberías. Mientras mayor es la profundidad de la excavación para instalar la tubería mayor es la probabilidad de presencia de roca y de alto nivel freático. En caso de los atrasos causados por la excavación en roca, estos son directamente proporcionales a la profundidad y a la cantidad de excavación requerida. Dependerá también de la posibilidad de acceso de los equipos a ser utilizados para la demolición de roca en el predio. Con la determinación de las cantidades de cada uno de los diseños, observando los resultados del estimado de costos para cada sistema y realizando diferentes entrevistas con contratistas, podemos indicar las ventajas y desventajas de cada sistema.

### Ventajas y Desventajas

Al observar las diferencias en costos de construcción de ambos sistemas, se establecen las ventajas y desventajas de cada uno. Además se



incluyen la evaluación de los elementos correspondientes a la operación y al mantenimiento de ambos sistemas.

Al momento de seleccionar que sistema se escogerá para un proyecto específico, puedes verificar las diferentes condiciones y seleccionar el sistema que presente mayores beneficios. Puedes evaluar que elementos benefician o perjudican tu proyecto.

Las Tablas 8 y 9 muestran las ventajas y desventajas de los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío.

**Tabla 8**  
**Ventajas y Desventajas del Sistema Sanitario por Gravedad**

Tipo de sistema	Sistema Sanitario por Gravedad	
Elemento	Ventajas	Desventajas
Diámetro de Tuberías	Costos bajo, disponibilidad	8"
Pendiente de Tuberías	Fácil de diseñar y no requiere mayores instrucciones durante la construcción	La ubicación de los registros está atada por ubicación y la pendiente de la tubería
Profundidad de la tuberías	La profundidad de las tuberías las hace menos susceptibles a daños	Las profundidades mayores; la elevación de la casa afecta su profundidad
Cantidad de Registros	La cantidad de registros es menor, especialmente en comunidades de alta densidad	La cantidad de registros podría ser mayor si la densidad es baja y existe muchos cambios de dirección
Ubicación de los Registros	El registro se ubica en el espacio sobre la alineación de la tubería y no interfiere con la misma	La ubicación está amarrada por la alineación de las tuberías
Reparación del sistema	El sistema es fácil de reparar	Debido a las reparaciones pueden requerir excavaciones profundas, ser costosas y complejas

Tipo de sistema	Sistema Sanitario por Gravedad	
Elemento	Ventajas	Desventajas
Piezas de Reemplazo	Las piezas están disponibles	
Mantenimiento	El mantenimiento es bajo y accesible	Registros profundos, tuberías grandes
Estación de Bombas	De uso común y de fácil mantenimiento	La ubicación está gobernada por el punto bajo del sistema
Fosa de descarga	Fácil acceso, poco mantenimiento	El tamaño y elevación de la fosa están controladas por invertidas de entrada de las tuberías profundas, además del volumen requerido

**Tabla 9**  
**Ventajas y Desventajas del Sistema Sanitario por Gravedad**

Tipo de sistema	Sistema Sanitario por Vacío	
Elemento	Ventajas	Desventajas
Diámetro de Tuberías	Diámetros menores	Los costos más alto
Pendiente de Tuberías	Las pendientes son mínimas y provee la posibilidad de realizar cambios en elevación para levantar la tubería "lift"	Requiere un diseño bien cuidadoso para asegurar que no se exceden las perdidas estáticas por cada "lift"
Profundidad de la tuberías	Las profundidades mínimas	Susceptibilidad de la tubería a roturas
Cantidad de Registros	Podría ser menor en comunidades de bien baja densidad	La cantidad de registros de mayor especialmente en comunidades de alta densidad; el costo de los registros es más alto y se requiere un registro por cada 4 casas
Ubicación de los Registros	La ubicación de los registros puede ser a conveniencia; dependerá de la ubicación de la casa a conectarse	Se instalan separado de la tubería principal por lo que requiere mayor espacio

Tipo de sistema	Sistema Sanitario por Vacío	
Elemento	Ventajas	Desventajas
Reparación del sistema	En caso de una rotura el sistema avisa de la misma	La reparación de las tuberías no es simple y requiere dejar fuera de servicio un sector.
Piezas de Reemplazo	Las tuberías son de menor diámetro y son más fáciles de manejar	Son especiales y su disponibilidad es limitada.
Mantenimiento	Las tuberías están accesibles en caso de mantenimiento	Especializado y constante
Estación de Bombas	La ubicación a conveniencia y podría ser un lugar céntrico y disminuir los largos y diámetros	El costo es alto y es mayor por la necesidad de las bombas de vacío adicionales a las de impulsión
Fosa de descarga	El tamaño y elevación de la fosa no están controladas por invertidas de entrada profundas	La fosa de descarga es de alto costo, difícil acceso, y alto mantenimiento

## CONCLUSIÓN

Este artículo presentó las características de los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío. Se demostró la importancia de la evaluación del lugar donde ubicará el proyecto, para poder determinar las características específicas que afectarán la selección del tipo de sistema sanitario a ser implementado.

Luego de la comparación de ambos sistemas en el proyecto diseñado, se pudo observar que bajo condiciones ideales de construcción, los sistemas sanitarios por gravedad continúan siendo los más recomendados. Estos sistemas son fáciles de diseñar, construir y mantener. Representan la primera opción debido a la facilidad de diseño, construcción y operación.

En el caso de condiciones adversas en el predio del proyecto, donde las características del lugar afectan la construcción, se demostró que el sistema sanitario por vacío podría representar una alternativa. En algunos proyectos no es posible la

construcción de un sistema sanitario por gravedad debido al alto costo que podría representar; tiempo de construcción y efectos sobre la comunidad.

## RECOMENDACIONES

Luego de comparar los sistemas sanitarios por gravedad y por vacío podemos recomendar al diseñador que comience por la evaluación del lugar a ser construido el sistema sanitario. Debe enfocar su análisis en: las condiciones del predio, si es un proyecto nuevo o una comunidad existente. Las condiciones topográficas indicarán como se ve afectado el diseño por la falta de pendiente natural que mantenga al mínimo las excavaciones requeridas.

En Puerto Rico existe una cantidad considerable de comunidades aisladas, donde actualmente no existe sistema sanitario o el mismo esta combinado con los sistemas de recolección de aguas pluviales. En este caso se hace onerosa la construcción de un sistema sanitario por gravedad debido a las condiciones existentes del lugar, las limitaciones de espacio, la falta de pendiente favorables en el terreno, la variabilidad en la topografía, altos niveles freáticos y la posible presencia de suelos malos y/o rocosos. Para muchos de estos lugares la única alternativa real es la construcción de un sistema sanitario por vacío.

Se recomienda realizar un inventario de comunidades que actualmente no cuentan con sistema sanitario o el sistema sanitario existente es deficiente o están combinados con el sistema de drenaje pluvial. Con este inventario se debe identificar si las condiciones existentes del lugar justifican la inversión en un sistema sanitario por vacío.

## REFERENCIAS

- [1] Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico, 1984, *Reglamento de Normas de Diseño*.
- [2] Airvac Vacuum Sewer System, accedido el 3 de enero 2013, <http://airvac.com>
- [3] Roediger Vacuum GmbH, <http://www.roevac.com>



- [4] Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico  
*Reglamento Sobre los Servicios de Agua y Alcantarillado.*
- [5] Autoridad de Acueductos y Alcantarillado de Puerto Rico,  
*Reglamento para la Certificación de Planos de Construcción.*