

# Diseño de sistema de aprovechamiento de aguas pluviales y grises en el edificio N.º 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá

## Design of rainwater and gray water re-use system for building No. 1 of the Technological University of Panama

Debra Aparicio<sup>1</sup>, Katherine Graell<sup>1</sup>, Orlando Aguilar<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Estudiantes de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Industrial – Facultad de Ingeniería Industrial – Universidad Tecnológica de Panamá,

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica – Universidad Tecnológica de Panamá

**Resumen** Esta investigación es realizada con el propósito de diseñar un sistema para el aprovechamiento de aguas pluviales y grises para la descarga de los inodoros públicos del Edificio N.º 1 de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). Para ello se ha realizado un análisis de los sistemas actuales de suministro de agua potable y drenaje (sanitario) de dicho edificio. Este estudio se ha hecho mediante la lectura de planos, inspección de la estructura sanitaria, sobrevuelos con dron y entrevistas con profesionales que conocen la configuración de la edificación. Algunas de las variables medidas para realizar el diseño son: consumo de lavamanos (que lleva a cantidad de aguas grises disponibles), cantidad de agua de lluvia captable, consumo de agua potable del edificio y porcentaje de ahorro de agua. Con la aplicación del diseño se espera obtener un ahorro significativo en el gasto de agua potable en el edificio.

**Palabras claves** Reutilización de agua, agua pluvial, agua gris, cosecha de agua de lluvia.

**Abstract** This research has been done with the purpose of designing a system to use gray water and rainwater to flush the public toilets of the building number 1 of the Universidad Tecnológica de Panamá (UTP). For this purpose, we have analyzed the current systems of water supply and drainage (sanitary) of this facility. This study was performed through blueprint interpretation, sanitary structures inspections, overflights with a drone, and interviews to professionals who are familiar with the building fixture. Some of the variables measured were: lavatory faucet water consumption (which leads us to amount of available gray water), amount of rainwater available for harvest, potable water consumption, and percentage of potable water to be saved. Applying this design, we expect to significantly reduce the use of drinking water in the building.

**Keywords** Water reuse, rainwater, gray water, rainwater harvesting.

---

\* Corresponding author: orlando.aguilar@utp.ac.pa

## 1. Introducción

De acuerdo con un estudio realizado por la KPSEIC LAC, 2016, actualmente más de la mitad de la población mundial se centra en las ciudades y, aunque la razón a la que la población crece disminuya, se estima que para el año 2050 la población mundial crecerá sobre los 9 mil millones de habitantes. Como es de esperarse, este crecimiento no es uniforme y depende directamente del nivel de desarrollo de cada país, siendo así mayor en los países en desarrollo [1].

Los retos que enfrentan las urbes van desde lo social hasta lo económico, y por supuesto involucran al medio ambiente; siendo estas las que consumen entre el 60% y 80% de los recursos energéticos y a su vez emiten cerca del 75% del CO<sub>2</sub>

del planeta [2]. Uno de los desafíos ambientales más relevantes para las ciudades es aumentar la eficiencia en el uso de la energía y el agua.

Para poder aumentar la eficiencia en el uso del agua y a su vez adoptar las medidas necesarias ante los efectos del cambio climático, se recomienda la reutilización de aguas residuales (grises y/o negras) y el aprovechamiento del agua pluvial [3].

En este trabajo se propondrá el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas pluviales y grises (aguas generadas por el uso doméstico, es decir, lavado de ropa, lavado de manos, lavado de utensilios de cocina, ducha, sin incluir las aguas de servicios sanitarios o inodoros) para el Edificio N.º 1

de la Universidad Tecnológica de Panamá. Dicho diseño propondrá el uso de las aguas tratadas exclusivamente para los inodoros del edificio, contemplará todas las etapas del diseño, desde la recolección hasta la distribución de la misma. Adicionalmente, será presentado el cálculo del ahorro porcentual en caso de que se implemente el sistema anteriormente mencionado.

### 1.1 Revisión literaria

A través de una gestión integral, el aprovechamiento de las aguas pluviales y grises puede replantear el modelo de consumo de agua actual. Desafiando una concepción que hace ver que estas aguas, tradicionalmente consideradas como un desecho, ahora sean estimadas como un recurso valioso [4].

Los sistemas de aprovechamiento pueden ejecutarse como sistemas de agua dual [5], porque también contemplan fuente de agua, tratamiento y distribución. Estos son definidos como dos sistemas de tuberías de agua separadas, que distribuyen agua a los clientes. Una que lleva agua potable y la otra que transporta agua de menor calidad. Esto es en principio lo que se implementaría para sustituir el uso de agua potable y poder dar lugar al agua que será tratada para las descargas de los inodoros.

#### 1.1.1 Etapas

##### Captación pluvial

Área donde se recibe primeramente el agua para encausar al método de recolección, mediante canales, bajantes y colectores [6]. En las zonas donde sea posible utilizar el agua de lluvia como recurso, pueden obtenerse ahorros significativos en el consumo de agua de red, comprendidos entre el 25 y 40% [7].

##### Captación de aguas grises

El agua gris producida por los lavamanos se debe recoger en una tubería de drenaje separada para luego permitir el flujo a los aparatos de recolección y para seguir al sistema de tratamiento de aguas grises a través de la gravedad o la acción sifónica [8].

##### Tratamiento

Etapas del sistema donde se establecen las medidas que aseguran los estándares establecidos para el uso que se le dará al líquido. Para mantener el estado del agua hay tres procesos principales: prefiltrado, filtración y desinfección [9].

##### Almacenamiento

Lugar establecido para la recepción de las aguas, cuya función es abastecer el sistema. Este recinto actúa como regulación, porque de su capacidad de almacenamiento depende el abastecimiento de todo el sistema y de ser menor a lo requerido no se cumplirá el propósito, al igual que si no está bien ubicado o no se tenga un sistema de drenaje correcto la instalación donde se esté utilizando puede llegar a inundarse [9].

### Distribución

El proyecto necesita distribuir el agua tratada que pasará por la tubería principal de suministro del diseño hasta los diferentes ramales con lo que se logra cumplir el propósito de abastecer los inodoros que son los puntos de usos.

## 2. Materiales y métodos

En la revisión de literatura, se procederá con el estudio cuidadoso de libros especializados, artículos científicos e información disponible en la web, para conocer el estado del arte en materia de reciclaje de agua, sistemas existentes y elaboraciones de diseños.

El contenido del documento debe limitarse a un máximo de doce (12) páginas, incluyendo texto, ilustraciones, gráficos y referencias. Por página se entiende una cara de papel tamaño carta o 21.59 cm x 27.94 cm (8.5" x 11"). El cuerpo del artículo es a dos (2) columnas, cada una con 8.79 cm de ancho y 1.0 cm de espacio entre cada columna.

### 2.1 Sitio de ensayo

El Edificio N.º 1 de la UTP se encuentra ubicado en la Ciudad de Panamá a 9°1'25.914'' N 79°31'54.307'' W y a aproximadamente 62 m s.n.m.

Panamá es un país con precipitación media anual de 2600 mm a 5500 mm [10], y precipitación media a largo plazo de 2926 mm/año, por lo que se le clasifica como país con alta precipitación. El mayor porcentaje de estas lluvias cae en la estación lluviosa que inicia alrededor de mayo y termina a mediados de diciembre, dándole paso a la estación seca [11].

### 2.2 Análisis de situación actual

El proyecto consiste en la realización de un diseño sobre edificación ya fundada, los datos y ubicaciones deben ser corroborados. Por consiguiente, se solicitaron los planos a la Dirección General de Ingeniería y Arquitectura (DGIA) de la UTP.

Captación de agua pluvial: Para el proyecto, el área de captación será el techo del Edificio N.º 1. Se utilizó el plano de planta de fontanería para reconocer algunas de las bajantes que posiblemente podrían estar ubicadas en las canales que fueron colocadas al momento de agregar el piso de la Facultad de Ingeniería Industrial y con la ayuda de un dron DJI Phantom 4 se confirmaron las cantidades de bajantes de agua lluvia, su dimensión y si están por dentro o fuera de la estructura.

Captación de aguas grises: se solicitaron los planos del sistema sanitario del Edificio N.º 1 y se determinaron las trayectorias de las aguas del sistema de drenaje. Posteriormente se inspeccionaron las losas, los arreglos de tuberías del sistema sanitario de las demás Facultades, en compañía del equipo de mantenimiento de la UTP, para definir la ubicación del lugar donde se interceptarán las aguas grises de forma segura.

### 2.3 Consumo de agua potable

Para determinar el consumo de agua se obtuvo el documento de facturación al 1 de junio de 2012 [12] y a partir de este dato se identificaron los gastos según las diferentes actividades que se realizan en una institución educativa. El porcentaje del consumo para actividades de aseo personal es de 74% sobre el total. [13] Para ponderar el uso de inodoros, orinales y lavamanos, se utilizó la tabla de unidades de artefactos (UA) para el suministro de agua potable y se excluye las duchas para concordar con la configuración de la institución [14].

### 2.4 Precipitación aprovechable

Para estimar la cantidad de agua lluvia que se puede cosechar, se analiza una probabilidad del 75% (P75) de que en un período de tiempo determinado ocurran precipitaciones con determinados valores [15]. Para esto se ordenan los diferentes valores de precipitación en orden decreciente, y se enumeran de manera creciente de 1 a N (número de observaciones) y se calcula la probabilidad de cada valor con la fórmula:

$$(\%) = \frac{m-0.375}{N+0.25} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde,

P: Probabilidad (%)

m: Número de orden

N: Número total de observaciones

Con esto se realiza una curva de correlación entre los valores de Precipitación vs. Probabilidad y se obtiene una ecuación. Los datos de precipitación fueron tomados de la página web de [16], estación de Hato Pintado, y se utilizaron los datos de los meses de la estación lluviosa de los años 2000 al 2015.

Con esto se calcula el volumen de agua mensual más probable utilizando la ecuación 2.

$$V = A_c \cdot C \cdot PP \quad (2)$$

Donde,

V: Volumen total (l).

A<sub>c</sub>: Área de captación (m<sup>2</sup>).

C: Coeficiente de Escorrentía. La primera parte de la precipitación no se aprovecha y se utiliza para la limpieza de la superficie del techo. El techo es de arcilla y si el mismo está totalmente seco, absorberá parte de la lluvia [15].

PP: Precipitación Probable (P75 en mm).

### 2.5 Porcentaje de ahorro

Se estiman tres tipos de porcentajes para cuantificar el ahorro que se registrará en el consumo de agua potable del Edificio N.º 1, considerando el porcentaje de consumo global

como el ahorro que el edificio tendrá sobre el gasto mensual. En base al gasto, se calculará cuánto de este pertenece a las actividades de aseo personal y se obtendrá otro porcentaje. Finalmente, dentro de las actividades de aseo personal, se conocerá cuánto es el consumo de los inodoros y orinales, para obtener el tercer porcentaje. Con la estimación de la cantidad de agua reutilizable mensual, que es la suma de la posible captación pluvial en un mes más la captación de las aguas grises en el mismo periodo, se pudo determinar el valor porcentual que se logrará ahorrar por la razón que existe entre la estimación y los consumos calculados para el año 2012.

## 3. Resultados preliminares

### 3.1 Situación actual

Se identificaron 34 bajantes pluviales. 5 externas con diámetro de 6" y 29 internas con diámetro de 4".

En la figura 1 se muestra la entrada de las aguas negras (1) y de las aguas grises y el lugar donde estas serán captadas (2).



Figura 1. Sistema de drenaje y lugar donde se interceptarán las aguas grises.

### 3.2 Consumo de agua potable

En la tabla 1 se presenta el consumo de agua potable del Edificio 1. Se realizan las estimaciones con los recursos ya mencionados. Para la ponderación se utilizó inodoros y orinales de fluxómetro – 10 y 5 UA, lavamanos – 2 UA y se excluyen las duchas – 4 UA.

Tabla 1. Aproximación de la cantidad de aguas grises

| Consumo  |            |
|--|------------|
| Consumo de agua potable edificio n°1 (gal/mes) | 879 000    |
| Porcentaje de aseo personal (%)                | 60         |
| Consumo de aseo personal (gal/mes)             | 526 562.86 |
| Porcentaje Respecto Aseo Personal              |            |
| Porcentaje de inodoro y orinal de fluxómetro   | 0.88       |
| Porcentaje de lavamanos                        | 0.12       |
| Aproximaciones                                 |            |
| Estimado de aguas grises                       | 61 948.57  |
| Consumo de agua potable en inodoros y orinales | 464 614.29 |

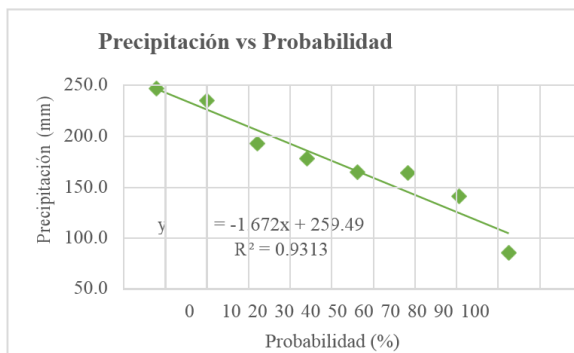
### 3.3 Precipitación aprovechable

Para calcular el volumen de agua que se puede captar, se utilizaron los datos de la estación meteorológica de Hato Pintado. Para evitar sesgo en el cálculo, se utilizó la información de los meses de estación lluviosa. Una vez ordenados se resumen en la tabla 2.

Tabla 2. Probabilidad de precipitación según mes del año (estación lluviosa)

| MES  | Precipitación (mm) | Orden | Probabilidad (%) |
|------|--------------------|-------|------------------|
| OCT  | 246.770            | 1     | 7.756            |
| NOV  | 235.051            | 2     | 19.697           |
| MAY  | 192.905            | 3     | 31.818           |
| SEPT | 178.080            | 4     | 43.939           |
| JUL  | 164.398            | 5     | 56.061           |
| JUL  | 163.868            | 6     | 68.182           |
| AGO  | 140.623            | 7     | 80.303           |
| DIC  | 85.417             | 8     | 92.424           |

Los valores de la columna de probabilidad se calculan utilizando la ecuación 1.



Gráfica 1. Correlación entre precipitación y probabilidad (P75).

Utilizando la ecuación 3 obtenida del gráfico

$$PP = -1.672 \cdot P + 259.49 \quad (3)$$

Donde,

PP: Precipitación Probable

P: Probabilidad (75% en este caso)  $P = 75\%$

$$PP = -1.672 \cdot (75) + 259.49 = 134.09 \text{ mm}$$

Volumen de agua disponible mensualmente

$$V = A_c \cdot C \cdot PP$$

Donde,

$A_c$ : Área del techo del edificio = 4091 m<sup>2</sup>  $C$ : 0.70

PP: 134.09 mm

$$V = 4091 \cdot 0.7 \cdot 134.09 = 384\,028 \frac{l}{mes}$$

$$V \approx 101\,449 \frac{gal}{mes}$$

### 3.4 Porcentaje de ahorro

En la tabla 3 se presenta el total de aguas residuales que se estima poder recolectar a partir de las zonas de captación.

Tabla 3. Estimado mensual para utilizar en el diseño

| Estimado mensual 2012 (gal/mes)  |         |
|----------------------------------|---------|
| Estimado de agua gris captable   | 61 949  |
| Estimado de agua lluvia captable | 101 449 |
| Total estimado                   | 163398  |

En la Tabla 4 se presenta el ahorro de agua potable en base a los datos del año 2012.

Tabla 4. Porcentajes de ahorro

| Porcentaje de ahorro mensual (2012)                         |     |
|---|-----|
| Porcentaje de ahorro en consumo global                      | 19% |
| Porcentaje de ahorro en consumo de aseo personal            | 31% |
| Porcentaje de ahorro en consumo de agua potable en inodoros | 35% |

## Conclusiones

Basados en la revisión literaria realizada hasta el momento se puede concluir que:

- Debido a que Panamá es un país con altos niveles de precipitación, se puede utilizar la cosecha de agua lluvia como método para disminuir significativamente el consumo de agua potable.
- Las aguas grises son un recurso valioso, y al igual que en otras regiones del mundo, en nuestro país se pueden utilizar como fuente alternativa para usos donde no es indispensable el agua potable.
- Dado el alto número de edificios que existen y están en construcción en la Ciudad de Panamá, es primordial realizar consideraciones con respecto a los consumos de agua y energía. El ahorro está estrechamente ligado a los tipos de artefactos usados y el número de usuarios, por lo que con un adecuado sistema de aprovechamiento y dispositivos de bajo consumo, se pueden lograr ahorros de cerca del 50% de agua potable en edificaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que nos han colaborado hasta el momento en nuestro proyecto. Al personal del Departamento de Ingeniería y Arquitectura de la UTP, en especial al Ing. Mizaél Rodríguez y el Sr. Eloy Soto; al personal de la Dirección de Mantenimiento, en especial al Ing. Ofilio Rodríguez y los Sres. Rigoberto Mena, Jesús Peña y Ernesto Cortíz; al personal administrativo de la Facultad de Ingeniería Industrial y a los Profesores, Rita Araúz, Vicelda Domínguez y Humberto Álvarez. Y al profesor Orlando

Aguilar de la Facultad de Ingeniería Mecánica asesor de trabajo de graduación.

[16] ETESA. (2016). Hidromet. Obtenido de [http://www.hidromet.com.pa/clima\\_historicos.php?sens or=2](http://www.hidromet.com.pa/clima_historicos.php?sens or=2)

## REFERENCIAS

- [1] KPESICLAC. (2016). Knowledge Platform on Environmentally Sustainable Infrastructure Latin America and Caribbean. Obtenido de <http://formacion.kpesic.com/>.
- [2] AMECIT. (2012). 'Smart city', un modelo de ciudad que genera bienestar, trabajo y riqueza. Obtenido de [http://www.teinteresa.es/tecno/Smart-ciudad-bienestar-trabajo-riqueza\\_0\\_1042696771.html](http://www.teinteresa.es/tecno/Smart-ciudad-bienestar-trabajo-riqueza_0_1042696771.html). Consulta febrero 10, 2016.
- [3] Reutilización del Agua. (s.f.). Obtenido de [http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap\\_2\\_a.pdf](http://www.igme.es/actividadesigme/lineas/HidroyCA/publica/libro33/pdf/lib33/cap_2_a.pdf)
- [4] Estupiñán, J., & Zapata, H. (2010). Requerimientos de Infraestructura para el Aprovechamiento Sostenible del Agua Lluvia en el Campus de la Pontificia Universidad Javeriana, sede Bogotá. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- [5] Grigg, S. N., Rogers, D. P., & Edmiston, S. (2013). Dual Water Systems: Characterization and Performance for Distribution of Reclaimed Water. Washington D.C.: Water Research Foundation.
- [6] Accetturo, A. (2012). Rainwater Harvesting GUIDANCE TOWARD A SUSTAINABLE WATER FUTURE . Bellingham: City of Bellingham's Water Conservation Program. Organización Panamericana de la Salud. (2004). Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia. Lima.
- [7] Soriano Rull, A., & Pancorbo Floristán, J. (2014). Suministro, Distribución y Evacuación Interior de Agua Sanitaria. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- [8] Water Supplies Department. (2015). TECHNICAL SPECIFICATIONS ON GREY WATER REUSE AND RAINWATER HARVESTING.
- [9] International Renewable Resources Institute, México. (2008). Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos. México D.F.: Puma.
- [10] FAO. (2015). AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Obtenido de: [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/pan/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/pan/indexesp.stm)
- [11] Insitituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, P. (s.f.). Smithsonian Tropical Research Institute. Obtenido de [http://www.stri.si.edu/espanol/acerca\\_stri/acerca\\_panama/index.php](http://www.stri.si.edu/espanol/acerca_stri/acerca_panama/index.php)
- [12] I.D.A.A.N. (2012). Informe de Cuentas de Gobierno Y Autónomas por Entidad. Panamá.
- [13] Manco-Silva, D., Guerrero-Erazo, J., & Morales-Pinzón, T. (2016). Estimación de la Demanda de Agua en Centros Educativos: Caso de Estudio Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Manizales, Colombia: Revista Luna Azul,.
- [14] Nielsen, L. (1981). Standard Plumbing Engineering Desing. New York: McGraw-Hill.
- [15] Van Wambeke, J., Prieto Celi, M., & otros, y. (2013). Captación y Almacenamiento de Agua Lluvia. Opciones Técnicas para la Agricultura Familiar para América Latina y el Caribe. Santiago: Food and Agriculture Organization of United Nation.