

## Dimensionamiento de depósitos para captación de agua de lluvia en viviendas

Dr.C Ronnie Torres Hugues email: [ronnie@cih.cujae.edu.cu](mailto:ronnie@cih.cujae.edu.cu)  
Centro de Servicios Técnicos de Ingeniería y Tecnología de la Construcción, La Habana, Cuba.

Ing. Ailime Lázara Fresquet Blanco email: [esptec2@petraf.co.cu](mailto:esptec2@petraf.co.cu)  
Empresa de Exploración y Extracción de Petróleo y Gas S.A (PETRAF), La Habana, Cuba.

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo evaluar el comportamiento de varios métodos de referencia internacional para la determinación del volumen de un depósito para la captación de agua de lluvia. Para ello se tomó un caso de estudio de una vivienda en La Habana, lugar de donde se extrajo los datos pluviométricos, así como también se estableció que el consumo estuviera destinado a descarga de inodoros, el lavado de vajilla y riego de jardín. Los resultados mostraron similitud en los valores. Se llevó a cabo un análisis de sensibilidad para tres variables que arrojó cómo el área de captación es la variable más determinante, así como la condición para el uso de uno de los métodos.

**Palabras clave:** agua de lluvia, dimensionamiento, evaluación, La Habana, vivienda.

## Sizing reservoirs to rainwater harvesting in houses

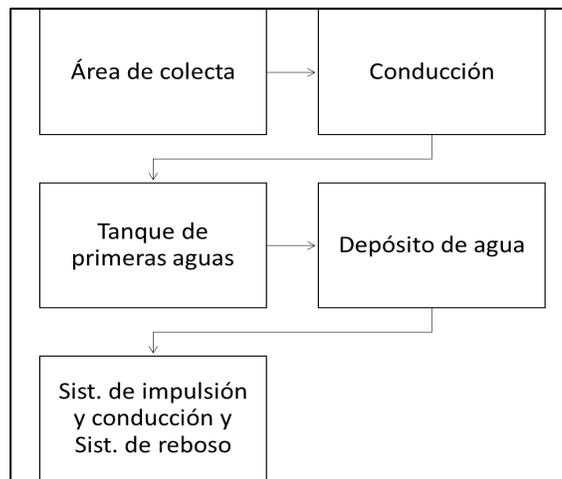
### ABSTRACT

The main objective of this work is evaluate the behavior of many international use methods to determine reservoir volume for rainwater harvesting. For this, a house in Havana was selected, the pluviometry data correspond to this country and the water consume was destined to toilet demand, washing dishes and drop garden. Results show similar values. A sensitive analysis was done for three variables and the most important is capitation area, the condition to use one of these method also was found.

**Keywords:** rainwater, sizing, evaluation, La Habana, house.

## INTRODUCCIÓN

La captación de aguas de lluvia ha sido una vía para disponer de este recurso y economizar agua potable o en situaciones de difícil acceso de otras fuentes, incluso desde hace casi 4000 años. Los sistemas implementados para este fin han favorecido a mejorar las condiciones higiénico-sanitarias y de confort a miles de personas en el mundo (Torres 2019). Además, la facilidad para su instalación ha provocado que se empleen no solo para el consumo de agua con fines domésticos, sino también para la ganadería, cría de peces y hasta para el riego en invernaderos y organopónicos. En la figura 1 se muestra un esquema con las partes más importantes que los componen.



**Figura 1. Partes componentes de un sistema de captación de aguas de lluvia.**

A nivel mundial este tema no ha perdido vigencia y ha ganado terreno tanto en la concepción y construcción de edificios como en las investigaciones. En tal sentido, países como Estados Unidos de América, China, Brasil, México y Australia, entre otros lideran estas prácticas mediante concepciones técnicas, científicas, normativas y socioeconómicas.

Por su parte, en Cuba se reporta el uso de esta técnica desde el siglo XVII y en la actualidad se siguen desarrollando proyectos de ingeniería tanto con fines de abasto de agua a la población como para la agricultura y de investigaciones. En este aspecto se pueden poner como ejemplos un trabajo sobre el uso de indicadores como herramienta para la concepción del área colectora (Torres y Fresquet 2020) y una metodología para el dimensionamiento del depósito de agua (Driggs 2009), por solo citar dos.

Es de destacar, que el último tema es uno de los más importantes y polémicos dado la diversidad de criterios para su determinación. Es por eso que con el objetivo de evaluar varios métodos para la determinación del volumen del depósito de agua se realiza una comparación de los mismos tomando como caso de estudio una vivienda.

## MÉTODOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL DEPÓSITO

En la consulta a la literatura internacional sobre el tema se destacan 10 métodos (da Cruz et al. 2010), que pueden clasificarse como globales y de balance. Los primeros se basan en

almacenar una cantidad de agua que solo está en función, mayoritariamente, de la cantidad fija de lluvia caída y de una demanda. Por su parte, los segundos establecen un análisis de las posibles entradas y salidas del recurso en el depósito a lo largo de un año para garantizar la disponibilidad la mayor cantidad de meses. Por tanto, con estos últimos el dimensionamiento obtenido debe ser mayor.

El método desarrollado en la fuente cubana antes mencionada no se encuentra reportado en los otros materiales, por lo que se considera autóctono y como referencia en la comparación del caso de estudio.

### Métodos propuestos por autores extranjeros

De manera resumida se muestra en la tabla 1 los métodos que se abordaron en la referencia brasileña. En la tabla 2 se exponen los mencionados en las referencias españolas. En ambas se indica el autor, la fórmula principal y su respectiva clasificación. Como la procedencia es variada se decidió unificar la nomenclatura de algunas variables que resultaban comunes en varias expresiones matemáticas.

**Tabla 1. Métodos tratados en la referencia brasileña (da Cruz et al. 2010)**

No.	Método	Fórmulas	Observación
1	Azevedo 2007	$V = \frac{0,042 \cdot P \cdot A \cdot T}{1000}$ (1)	Global
2	Práctico Inglés 2009	$V = \frac{0,050 \cdot P \cdot A}{1000}$ (2)	Global
3	Práctico Alemán 2002	$V = 0,060 \cdot \min(Vall, D)$ (3)	Global
4	De Sequía 2009	$V = \frac{N \cdot Dd}{1000}$ (4)	Global
5	Decreto Mcpal 293-2006	$V = \frac{0,25 \cdot Nh \cdot Cd \cdot dr}{1000}$ (5)	Global
6	Rippl 1983	$V = \sum Dt - Qt$ (6)	Balance hídrico, solo se efectúa la suma cuando $Dt > Qt$
7	Práctico Australiano 2004	$V$ se impone	Balance hídrico. Para llegar al valor correcto de $V$ en cada iteración se comprueba que se cumpla <i>Conf.</i>
8	Simulación 1993	$V$ se impone	Balance hídrico. Para llegar al valor correcto de $V$ en cada iteración se comprueba que se cumpla <i>Conf.</i>

donde:  $V$  es el volumen de agua en el depósito [ $m^3$ ],  $P$  es la precipitación media anual [mm],  $A$  es el área de captación [ $m^2$ ],  $T$  es la cantidad de meses con poca lluvia o secos,  $Vall$  es el volumen de agua de lluvia aprovechable [ $m^3$ ],  $D$  es la demanda anual de agua no potable [ $m^3$ ],  $N$  es la cantidad de días consecutivos sin lluvia,  $Dd$  es la demanda diaria de agua [L/d] que se obtiene como el producto de la dotación y la cantidad de personas,  $Nh$  es la cantidad de unidades habitacionales (cantidad de locales con agua),  $Cd$  es el consumo diario,  $dr$  es la cantidad de días de reserva,  $Dt$  es la demanda de agua en un tiempo  $t$  dado [ $m^3$ ],  $Qt$  es el volumen de agua de lluvia disponible en un

tiempo  $t$  dado [ $m^3$ ] y  $Conf$  es la confianza del sistema [%] que debe encontrarse entre 90-100%.

El consumo de agua no potable puede estar dirigido a la descarga de inodoro, riego de jardín, la limpieza de superficies y demanda de la lavadora adaptada al uso de aguas pluviales.

**Tabla 2. Métodos españoles**

No.	Método	Fórmulas	Observación
1	Aqua España	$V = \frac{Dd \cdot Fd \cdot Ps}{1000} (7)$	Global
2	CEPIS	$V = \max(Dat - Qat) (8)$	Balance hídrico

donde:  $V$  es el volumen de agua en el depósito [ $m^3$ ],  $Dd$  es la demanda diaria de agua [L/d] que se obtiene como el producto de la dotación y la cantidad de personas,  $Fd$  es el factor de dimensionado que representa un aumento entre 15-20%, debido al contenido de sedimentos en el fondo del depósito que produce la pérdida de volumen útil,  $Ps$  es el período máximo entre dos episodios de lluvia significativos [día]= 30-40 días,  $Dat$  es la demanda de agua acumulada en un tiempo  $t$  [ $m^3$ ] y  $Qat$  es el volumen de agua de lluvia disponible acumulado en el tiempo  $t$  [ $m^3$ ].

A continuación, se muestran las fórmulas auxiliares de las distintas expresiones vistas anteriormente.

$$Vall = \frac{P \cdot A \cdot C \cdot \eta}{1000} (9)$$

donde:  $C$  es el coeficiente de escurrimiento y  $\eta$  es el factor de eficiencia del sistema de captación considerando o no la existencia del dispositivo de retención de sólidos y desvío de las primeras aguas. De considerarlo se toma 0,85.

$$D = \frac{Nu \cdot Na \cdot Dot}{1000} (10)$$

donde:  $Nu$  es la cantidad de usuarios,  $Na$  la cantidad de días de un año y  $Dot$  es la dotación [Lppd].

$$Dt = \frac{Nu \cdot Nd \cdot Dot}{1000} (11)$$

donde:  $Nu$  es la cantidad de usuarios,  $Nd$  es la cantidad de días en el tiempo  $t$  (generalmente =30 días) y  $Dot$  es la dotación [Lppd].

$$Qt = \frac{C \cdot P \cdot A}{1000} (12)$$

Donde las variables involucradas ya fueron mencionadas.

$$Dat = D(t - 1) + \frac{Nu \cdot Nd \cdot Dot}{1000} (13)$$

$$Qat = Q(t - 1) + \frac{C \cdot Pt \cdot A}{1000} (14)$$

donde:  $Nd$  es la cantidad de días en el tiempo  $t$  (generalmente =30 días) y  $Pt$  es la precipitación media en el periodo  $t$  [mm]. En el método Práctico Australiano a  $Pt$  se le resta un valor  $I$  asociado a la evaporación,  $I=2\text{mm}$ .

$$Conf = 1 - \frac{Nr}{Nm} \quad (15)$$

donde:  $Nr$  es la cantidad de meses cuya demanda no es cubierta por el depósito y  $Nm$  es la cantidad de meses en un año.

El balance hídrico se establece considerando una cantidad al inicio del periodo, el aporte en el periodo de estudio (generalmente un mes) y la demanda de agua en ese periodo, a partir de la expresión:

$$S_t = S_{t-1} + Qt - Dt \quad (16)$$

En algunas bibliografías se considera en el balance que se debe restar además la pérdida por evaporación y por otras causas (azolve, etc.). Además,  $S_t$  debe tomar valores entre 0 y  $V$ , en caso de  $S_t < 0$ , se considera  $S_t = 0$ .

### Método propuesto por autor cubano

Según (Driggs 2009) el método consta de cuatro pasos. Las variables tratadas en este método que coincidan son establecidas con igual símbolo.

Paso 1. Determinar la demanda anual  $D$  [ $\text{m}^3$ ], donde  $D$  es la demanda anual,  $Q$  es la demanda diaria [L/persona/año] y  $N$  el número de personas.

$$D = \frac{Q \cdot N \cdot 365}{1000} \quad (17)$$

Paso 2. Determinar la superficie colectora  $A$  [ $\text{m}^2$ ], donde  $Kp$  es el coeficiente de pérdidas, para zonas secas oscila entre 0,6 y 0,7 y para zonas húmedas entre 0,7 y 1,0 y  $Hp$  es la lámina media anual [mm].

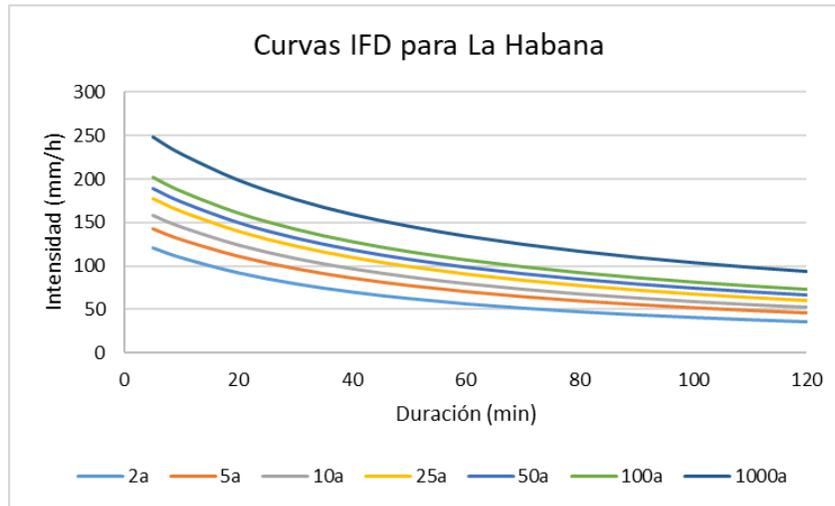
$$A = \frac{1000 \cdot D}{Kp \cdot Hp} \quad (18)$$

Paso 3. Determinar la lámina máxima de una lluvia para una duración continuada determinada en un año,  $H$  [mm]. Se propone utilizar un mínimo de 1 hora, quedando a elección del proyectista. Este dato está disponible en la Empresas de Aprovechamiento Hidráulico de cada territorio y en los boletines del Insmet. No queda explícito si se hace referencia a las curvas IFD que sería, a consideración de los autores de este trabajo, lo más sensato.

Paso 4. Determinar la capacidad de la cisterna  $V$  [ $\text{m}^3$ ].

$$V = \frac{A \cdot H}{1000} \quad (19)$$

Para el caso de La Habana se presenta en la figura 2 estas curvas para distintos periodos de retorno. Cada curva es un promedio de los cinco equipos con que cuenta la provincia (González et al. 2000).

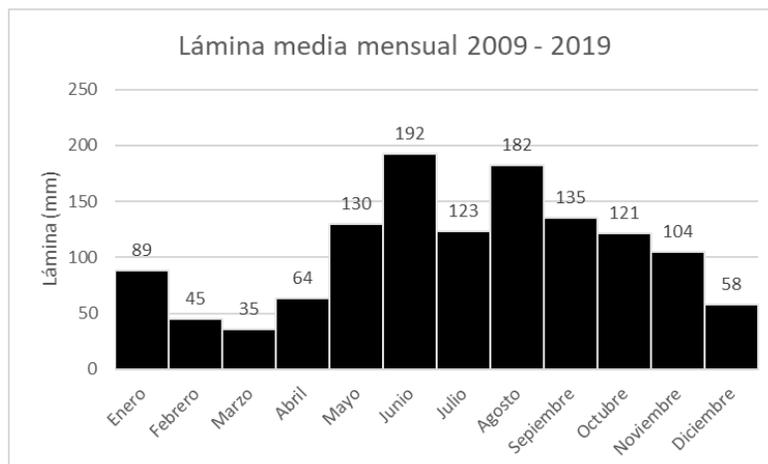


**Figura 2. Curvas IFD para La Habana.**

## CASO DE ESTUDIO

Se tomará como caso de estudio una vivienda unifamiliar de seis personas ubicada en la provincia La Habana, que tiene un área colectora de 200 m<sup>2</sup>. El coeficiente de escurrimiento establecido según el tipo de material (tejas de barro cocido) en la azotea es de 0,96. La dotación que se quiere sustituir con agua de lluvia es de 80 Lppd, que comprende descarga de inodoros, el lavado de vajilla y riego de jardín.

Por su parte, la distribución de la lluvia media mensual en el periodo comprendido entre 2009 y 2019 se muestra en la figura 3. Estos datos fueron obtenidos de los boletines periódicos publicados en el sitio web oficial del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Torres y Fresquet 2019).



**Figura 3. Lámina media mensual en el periodo 2009 - 2019.**

Como se puede apreciar, se establece claramente la diferencia entre el periodo húmedo (mayo – noviembre) y el seco (diciembre - abril), siendo el umbral los 100 mm. A su vez, la lámina media mensual es de 106,6 mm y la lámina anual es de 1279 mm.

Otros datos, que son específicos de cada modelo se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3. Datos específicos para las distintas expresiones.**

Variable	Símbolo	Cantidad	Unidad
Factor de eficiencia del Scall	$\eta$	0,85	-
Cantidad de personas	$Nu$	6	-
Cantidad de meses con poca lluvia	$T$	2	-
Factor de dimensionamiento	$Fd$	20	%
Periodo entre lluvias	$Ps$	15	días
Días consecutivos sin lluvia	$N$	15	-
Días de reserva	$dr$	15	días
Cantidad locales con agua	$Nh$	4	-
Evaporación	$I$	5	mm
Duración de la lluvia continua	$t$	60	min

Se considera una pérdida del 15% debido a la retención del tanque para las primeras aguas y posibles desvíos que puedan producirse (da Cruz et al. 2010). Respecto a los meses con poca lluvia se estableció un umbral de 50 mm para la lámina mensual, encontrándose que dos meses no llegan, ver figura 3. Sobre el factor de dimensionamiento, que considera el azolve que puede almacenarse en el fondo, se escogió el valor de 20% (da Cruz et al. 2010), ya que se trata de una urbe muy transitada, en la que se genera mucha turbiedad. Por su parte, establecer un periodo entre lluvias, así como días consecutivos sin estas es muy complejo dado la variabilidad entre los meses y años, por tanto, para ambos se toma un valor de 15 días, para ser conservadores. En este mismo sentido, y para ser consecuentes, este tiempo es el empleado como reserva. Respecto a los locales con agua, se identifican cuatro: dos baños, el fregadero y el jardín. La evaporación en esta provincia oscila entre 3,3 y 6 mm, por tanto, se fijó un valor de 5 mm. Por último, la duración de la lluvia continua se tomó como 60 min, según la recomendación (Driggs 2009).

## EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS

En un principio se calcula el volumen de la cisterna o depósito por el método propuesto en (Driggs 2009). Para ello se indica determinar la demanda anual, la lámina máxima de una lluvia para una duración continua y, por último, el área colectora. Pero en este caso como el área colectora ya está fijada no es necesario realizar el paso de la demanda anual. La lámina de lluvia se determinó mediante las curvas IFD antes presentadas para una duración de 60 min y un periodo de retorno de 2 años, siendo de 56,5 mm.

No obstante, de efectuar la determinación de la demanda anual, por la ecuación 17, esta sería de 175,2 m<sup>3</sup>, requiriendo una superficie colectora, según la ecuación 18, de 137 m<sup>2</sup>. Obsérvese que este es inferior al fijado. Por tanto, el volumen de la cisterna que se obtiene de evaluar directamente el valor de 200 m<sup>2</sup> en la ecuación 19 es de 11 m<sup>3</sup>, y es un 38% mayor que si se

empleara 137 m<sup>2</sup> como área colectora. Se tomará el mayor valor como referencia para la comparación con los otros métodos.

### Dimensionamiento según los métodos globales

De los 11 métodos presentados, siete clasifican como métodos globales ya que están más dirigidos a almacenar una demanda estándar, generalmente anual, sin considerar los cambios que ocurren en cada mes.

Tanto el método de Azevedo y el Práctico Inglés dependen en gran medida de la precipitación media anual ( $P = 1279$  mm) y el área colectora ( $A = 200$  m<sup>2</sup>), el primero, además, depende de la cantidad de meses con poca lluvia, que se fijó en 1. Por su parte, el método de Sequía y el de Aqua España dependen de la demanda diaria de agua calculada en 480 L/d.

En la tabla 4 se exponen los valores para el volumen de la cisterna según cada método de este tipo y el por ciento en comparación al método de Driggs.

**Tabla 4. Datos específicos para las distintas expresiones.**

Método	Vol. de la cisterna (m <sup>3</sup> )	Comparación (%)
Driggs 2009	11	-
Azevedo 2007	21	190,1
Práctico Inglés 2009	13	118,2
Práctico Alemán 2002	11	100
Aqua España	9	81,8
De Sequía 2009	7	63,6
Decreto Mcpal 293-2006	7	63,6

Como se puede apreciar el volumen de la cisterna por los siete métodos se encuentran en el mismo orden de magnitud, y oscila entre 7 y 21 m<sup>3</sup>. Con el método de Azevedo se obtiene un valor mucho mayor que con el resto de los métodos, que son similares entre sí (7 – 13 m<sup>3</sup>). Este es altamente susceptible a la cantidad de meses con poca lluvia, que es lo que lo diferencia del Práctico Inglés, que a su vez es similar al Práctico Alemán. Estos dos últimos tienen una fuerte dependencia al volumen disponible. Por su parte, los métodos que dependen de la demanda de agua son los que menor valor para el volumen de la cisterna arrojaron.

### Dimensionamiento según los métodos de balance

A continuación, se exponen los métodos que consideran el balance del agua dentro del depósito. Entiéndase que en estos casos se considera mensualmente el comportamiento de la cantidad de agua que ingresa y la que se extrae, así sea por consumo o por evaporación (método Práctico Australiano).

Inicialmente, se expone en la tabla 5 la lámina, el aporte, la demanda y la diferencia entre estos para cada mes. El valor negativo implica que hay más aporte que demanda. Se comienza por el mes de mayor lámina de precipitación, que en este caso es junio, ya que se quiere almacenar el agua en el periodo húmedo para emplearla en los meses de menor disponibilidad. El aporte se calculó con la expresión (9) y la demanda a partir de la (10).

**Tabla 5. Balance de agua.**

Mes balance		Lam (mm)	Aporte (m <sup>3</sup> )	Dem (m <sup>3</sup> )	Dif (m <sup>3</sup> )
6	Junio	192,20	31,37	14,40	-16,97
7	Julio	123,42	20,14	14,88	-5,26
8	Agosto	182,49	29,78	14,88	-14,90
9	Septiembre	135,30	22,08	14,40	-7,68
10	Octubre	121,32	19,80	14,88	-4,92
11	Noviembre	104,46	17,05	14,40	-2,65
12	Diciembre	57,69	9,42	14,88	5,46
1	Enero	88,57	14,45	14,88	0,43
2	Febrero	45,04	7,35	13,44	6,09
3	Marzo	35,48	5,79	14,88	9,09
4	Abril	63,67	10,39	14,40	4,01
5	Mayo	129,51	21,14	14,88	-6,26
<b>TOTAL</b>		<b>1279</b>	<b>209</b>	<b>175</b>	<b>-34</b>

Véase que la diferencia neta es de -34 m<sup>3</sup>, lo que da idea de mayor disponibilidad que demanda, por lo que es válido pasar a calcular el volumen de la cisterna para los cuatro métodos restantes.

El método de Rippl analiza las entradas y salidas para cada mes, pero sin considerar que quedó una cantidad del mes anterior, calculando el volumen de la cisterna como la suma de los déficits mensuales, ver tabla 6. Por su parte, el método de CEPIS trabaja con los acumulados, ver tabla 7.

**Tabla 6. Resultado por el método de Rippl.**

Mes	Aporte (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Balance (m <sup>3</sup> )	Exceso (m <sup>3</sup> )	Déficit (m <sup>3</sup> )
Junio	31,37	14,40	-16,97	-16,97	0,00
Julio	20,14	14,88	-5,26	-5,26	0,00
Agosto	29,78	14,88	-14,90	-14,90	0,00
Septiembre	22,08	14,40	-7,68	-7,68	0,00
Octubre	19,80	14,88	-4,92	-4,92	0,00
Noviembre	17,05	14,40	-2,65	-2,65	0,00
Diciembre	9,42	14,88	5,46	0,00	5,46
Enero	14,45	14,88	0,43	0,00	0,43
Febrero	7,35	13,44	6,09	0,00	6,09
Marzo	5,79	14,88	9,09	0,00	9,09
Abril	10,39	14,40	4,01	0,00	4,01
Mayo	21,14	14,88	-6,26	-6,26	0,00
<b>Vol ag m3</b>				<b>58,64</b>	<b>25,1</b>

Como se puede apreciar el volumen de agua en el depósito que se obtiene de aplicar el método de Rippl es de 25 m<sup>3</sup>, el cual es el resultado del déficit anual. Véase también que por este

método casi 60 m<sup>3</sup> de agua son conducidos por el sistema de reboso mientras que en cuatro meses el aporte no logra satisfacer la demanda.

**Tabla 7. Resultado por el método de CEPIS.**

Mes	Aporte acum (m <sup>3</sup> )	Demanda acum (m <sup>3</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> )
Junio	31,37	14,40	16,97
Julio	51,51	29,28	22,23
Agosto	81,29	44,16	37,13
Septiembre	103,37	58,56	44,81
Octubre	123,17	73,44	49,73
Noviembre	140,22	87,84	<b>52,38</b>
Diciembre	149,64	102,72	46,92
Enero	164,09	117,60	46,49
Febrero	171,44	131,04	40,40
Marzo	177,23	145,92	31,31
Abril	187,62	160,32	27,30
Mayo	208,76	175,20	33,56

Como se puede apreciar el volumen de agua en el depósito que se obtiene de aplicar el método del CEPIS es de 52 m<sup>3</sup>, el cual es el resultado de la diferencia máxima entre el aporte acumulado y la demanda acumulada.

Es de destacar que el método de Simulación y el Práctico Australiano consideran que al comienzo de un mes puede haber quedado una reserva del mes anterior (Aporte i-1), ver tablas 8 y 9. También en ambos el volumen se impone buscando aquel valor que garantice una Confianza (ecuación 15) mayor que el 90%, siendo el valor que cumple con este requisito el de 22 y 19 m<sup>3</sup>, respectivamente. La diferencia entre estos radica en que el último de tiene en cuenta la evaporación.

**Tabla 8. Resultado por el método de Simulación.**

Mes	Aporte i-1 (m <sup>3</sup> )	Estado (m <sup>3</sup> )	Exceso (m <sup>3</sup> )
Junio	0	16,97	0,00
Julio	16,97	22,00	0,23
Agosto	22,00	22,00	14,90
Septiembre	22,00	22,00	7,68
Octubre	22,00	22,00	4,92
Noviembre	22,00	22,00	2,65
Diciembre	22,00	16,54	0,00
Enero	16,54	16,11	0,00
Febrero	16,11	10,02	0,00
Marzo	10,02	0,93	0,00
Abril	0,93	0,00	0,00
Mayo	0,00	6,26	0,00

Véase que, por el método de Simulación, si se suman los valores de la última columna de la tabla 8, casi 31 m<sup>3</sup> de agua son conducidos por el sistema de rebose mientras que solo en un mes (abril) el aporte no logra satisfacer la demanda, para una Confianza de 92%.

**Tabla 9. Resultado por el método de Práctico Australiano.**

Mes	Aporte i-1 (m <sup>3</sup> )	Estado (m <sup>3</sup> )	Exceso (m <sup>3</sup> )
Junio	0,00	19,00	2,54
Julio	19,00	19,00	7,86
Agosto	19,00	19,00	19,20
Septiembre	19,00	19,00	10,62
Octubre	19,00	19,00	7,45
Noviembre	19,00	19,00	4,70
Diciembre	19,00	14,24	0,00
Enero	14,24	15,40	0,00
Febrero	15,40	9,65	0,00
Marzo	9,65	0,62	0,00
Abril	0,62	0,00	0,00
Mayo	0,00	9,03	0,00

Véase que por el método Práctico Australiano casi 53 m<sup>3</sup> de agua son conducidos por el sistema de rebose mientras que excepto en abril se logra satisfacer la demanda, para una Confianza de 92%.

Como se ha podido observar, de los cuatro métodos que emplean el balance hídrico como concepto, tres han arrojado un valor próximo a 25 m<sup>3</sup> como solución a esta situación, muy cercano al del método de Azevedo. Aunque a partir de concepciones diferentes. Es de esperar que con el de Simulación y el Práctico Australiano los resultados sean similares ya que las bases de cálculo son prácticamente las mismas.

Véase como para valores tan próximos de volumen para la cisterna (25 m<sup>3</sup>) cada uno de los tres métodos arroja un valor diferente de agua conducida por el sistema de rebose y de cantidad de meses que cubren la demanda. Los autores de este trabajo se inclinan por darle mayor veracidad al método Práctico Australiano, ya que es lógico pensar que al final de cada mes quede una cantidad de agua que puede servir para el próximo mes, por lo que queda desestimado el método de Rippl. Por otra parte, en Cuba la evaporación es alta debido a sus condiciones climáticas de temperatura, humedad y radiación solar, por tanto, debe ser considerada en los análisis.

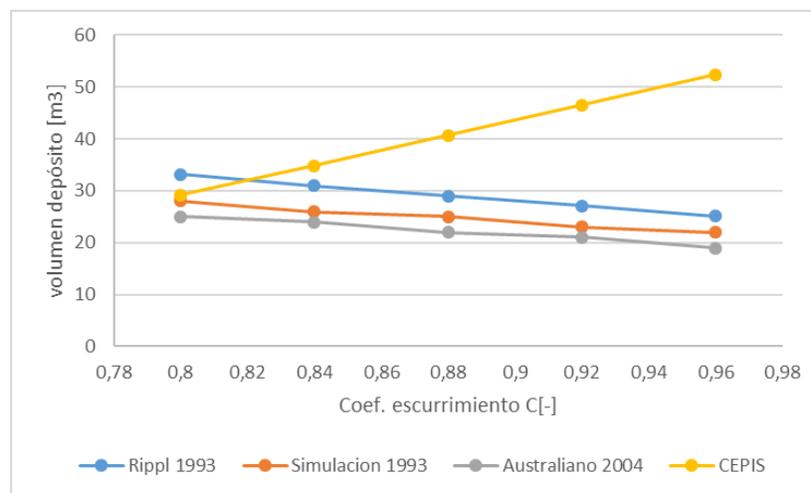
### **Análisis de sensibilidad de variables**

Para analizar la variabilidad del volumen del depósito se ha decidido realizar la sensibilidad a tres de las variables: coeficiente de escurrimiento, área de captación y factor de eficiencia del sistema para todos los métodos, por ser las de mayor manejabilidad a la hora del diseño. En la tabla 10 se relaciona el rango de valores empleados en la prueba.

**Tabla 10. Rango de valores de las variables.**

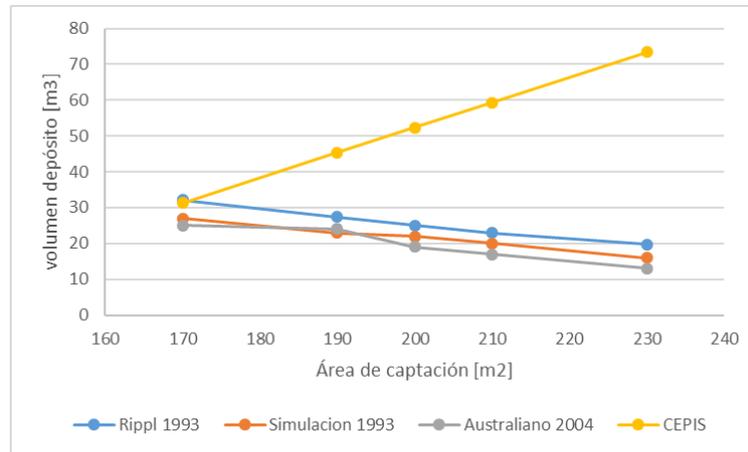
Variable	Valor inferior	Valor superior
$C [-]$	0,80	0,96
$A [m^2]$	170	230
$\eta [-]$	0,75	0,95

Respecto al primero de estos, se constató que para los métodos globales no hubo cambio en el resultado de la tabla 4. Sin embargo, para los de balance si hubo modificaciones, ver figura 4. Véase como el método de CEPIS tiene un comportamiento totalmente diferente que el resto a medida que se incrementa el valor de  $C$ , aumentando. Si se tiene en cuenta que mientras mayor este el depósito puede ser más pequeño para almacenar una cierta cantidad de agua, entonces esta variación no tiene sentido, por lo que el método no es confiable a no ser que la diferencia entre la demanda y el aporte sean muy similares, que es el caso de los dos primeros puntos de la curva, siendo de 1 y 7 m<sup>3</sup> respectivamente. Para los otros tres puntos la diferencia es de 16, 25 y 34 m<sup>3</sup> respectivamente.



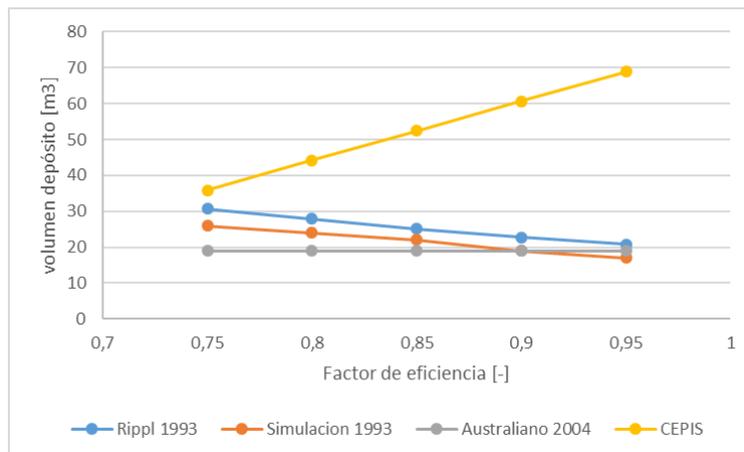
**Figura 4. Comportamiento de los métodos de balance para el coeficiente  $C$ .**

Analizando el comportamiento para el área de captación se aprecia que en cuatro (Práctico alemán, Aqua España, De sequía y Decreto Municipal 293-2006) de los siete métodos globales no hay variación respecto a la tabla 4. En los otros tres (Driggs, Azevedo y Práctico inglés) la variación es ligera respecto a cómo aumenta el parámetro, siendo de 3, 7 y 4 m<sup>3</sup> respectivamente entre el 170 y 230 m<sup>2</sup>. Respecto a los métodos de balance el comportamiento fue similar al de la figura 4, ver figura 5. En este sentido el análisis anterior también es válido en este caso, excepto que solo el método de CEPIS es válido para el primer punto (donde la diferencia entre demanda y aporte es de 2m<sup>3</sup>), mostrando gran dispersión respecto a los otros métodos a medida que se incrementa el área (donde la diferencia entre demanda y aporte es de 23, 34, 44 y 65 m<sup>3</sup>, respectivamente).



**Figura 5. Comportamiento de los métodos de balance para el área de captación.**

Por último, para el factor de eficiencia del sistema ocurre lo mismo que en el caso del coeficiente de escurrimiento, ver figura 6.



**Figura 6. Comportamiento de los métodos de balance para el factor de eficiencia.**

Los métodos globales no presentaron variación respecto a la tabla 4, mientras que para los métodos de balance se observa que el método de CEPIS nuevamente se aleja del resto con un comportamiento incorrecto de lo que debe suceder. Solo se encuentra cercano al resto en el primer punto, donde la diferencia entre demanda y aporte es de 9 m<sup>3</sup>, siendo para los demás de 21, 34, 46 y 58 m<sup>3</sup>, respectivamente.

En sentido general los resultados fueron bastante estables mostrando una ligera variación, sobre todo para los métodos de balance. El método de CEPIS fue la excepción, ya que está sujeto a la condición de una diferencia muy pequeña entre demanda y aporte.

## CONCLUSIONES

- Dentro de los métodos globales para la determinación del volumen de un depósito para la captación de agua de lluvia el método de Azevedo tiende a sobrediseñar el elemento, y el resto arroja valores similares.

- En cuanto a los métodos de balance, los resultados, en su mayoría, confluyen sobre el mismo valor, el cual está muy próximo al resultado por el método de Azevedo. Además, se observa que, aunque se basan en el balance hídrico, el volumen de agua que debe rebosar es muy diferente. Se considera que para las condiciones cubanas debe usarse el método Práctico Australiano.
- El parámetro que resultó más susceptible fue el área de captación que se encuentra estrechamente relacionado con el aporte. Dentro de los métodos globales el de Azevedo es el de mayor resultado, siendo prácticamente el doble que el resto. Por su parte, dentro de los de balance el de mayor cuidado es el de CEPIS, ya que está sujeto a la condición de que la diferencia entre demanda y aporte debe ser muy pequeña.

## REFERENCIAS

**da Cruz S. M., de Christan P., Teixeira C. and Farahbakhsh K.** (2010). “Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparacao entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR”, Revista Ambiente Construído, Vol. 10, No. 4, pp 219 – 231, ISSN 1678-8621, Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, Brasil.

**Driggs R.** (2009). “Metodología para la captación de agua de lluvia”. Tesis de Maestría, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana.

**González L., Jorge M., Martínez J. y Marrero N.** (2000). “Hidrología superficial para ingenieros”, ISBN sin número, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana.

**Torres R. y Fresquet A.** (2019). “Captación de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. 40, No. 1, pp. 122-135, ISSN 1815-591X, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

**Torres R.** (2019). “La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. 40, No. 2, pp. 125-139, ISSN 1815-591X, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

**Torres R. y Fresquet A.** (2020). “Caracterización de la captación de las aguas de lluvia para tipologías de viviendas”. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol. 41, No. 1, pp. 100-114, ISSN 1815-591X, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

*Ronnie Torres Hugues* <https://orcid.org/0000-0002-7206-6346>

Realizó contribuciones en la interpretación de los datos. Participó en el diseño de la investigación, análisis de los resultados y en la revisión y redacción del informe final.

*Ailime Lázara Fresquet Blanco* <https://orcid.org/0000-0002-8590-6092>

Trabajó en el procesamiento de los datos haciendo contribuciones en su análisis e interpretación. Participó en la búsqueda de información y en la redacción final.