

Caracterización de la captación de las aguas de lluvia para tipologías de viviendas

Dr.C Ronnie Torres Hugues

email: ronnie@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

Ing. Ailime Lázara Fresquet Blanco

email: 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 aprovechamiento de la captación de agua de lluvia según las tipologías de vivienda normadas para La Habana. Por tanto, se toman en consideración normas técnicas asociadas y la pluviometría de la provincia en cuestión. Para cumplir con esto se han establecido tres nuevos parámetros que permiten determinar el cubrimiento de la demanda, la productividad de la captación y la posibilidad de múltiples usos, así sean domésticos o de otra índole. Se determinó el posible volumen de captación para los diez tipos de viviendas, así como la demanda para la descarga de inodoros. Por último, se plantearon ocho situaciones hipotéticas en las que se demuestra la utilidad de los parámetros propuestos.

Palabras clave: agua de lluvia, indicadores, La Habana, viviendas.

Rainwater harvesting characterization for different house types

ABSTRACT

The mean objective of this work is evaluate the management of rainwater harvesting in Havana taking into account housing typologies established in technical norms. For this, technical norms and pluviometry data have been used. Three new parameters to determine demand covering, harvesting productivity and multiuse have been described. Volume harvesting for these typologies and toilet demand have been calculated for ten house types. Eight hypothetical situations have been introduced to show the practical value of these parameters.

Keywords: rainwater, parameters, La Habana, housing.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad ha estado marcado, entre otros aspectos, por la ingeniosidad adquirida para obtener y utilizar el agua. En Cuba se experimentó un gran impulso con el movimiento llamado Voluntad Hidráulica, después de los destrozos provocados por el huracán Flora en las provincias orientales.

En la actualidad, las mediciones que se llevan a cabo registran en la capital una disminución de las precipitaciones, fuente fundamental cubana para la obtención del recurso. Tal es el caso que, en el plan del estado cubano para el enfrentamiento del cambio climático, lo que se conoce como Tarea Vida, se plantea que el clima futuro está caracterizado por menos precipitaciones, mayores temperaturas y ocurrencia de sequías. En cuanto a la disponibilidad potencial del agua, se plantea una proyección para el 2100 de una reducción del 37% (INRH 2014). Esto, acompañado de la demanda de agua para una gran cantidad de habitantes, como es el caso de La Habana, trae como consecuencia que esta provincia se encuentre con un Índice de Estrés Hídrico muy elevado. Por tanto, la institución hace un llamado para implementar estrategias y lograr un uso más eficiente y productivo del agua.

El aprovechamiento del agua de la lluvia ha sido desde tiempos inmemoriales una práctica muy utilizada. Esta se ha empleado históricamente para múltiples usos (Torres 2019), pudiéndose volver a recuperar la costumbre para muchos usos domésticos, tales como la lavadora, el lavavajillas, la limpieza de la casa, la cisterna del inodoro, e incluso para el consumo humano y el riego, entre otras. Desde un punto de vista ambiental y económico contribuye a disminuir el consumo de agua potable, que tan elevados costos presenta.

Dada la situación que presenta La Habana, se ha establecido como objetivo evaluar el aprovechamiento de la captación de agua de lluvia según las tipologías de vivienda establecidas en las normas cubanas para La Habana. De esta manera se van sentando las bases para estudios más complejos en aras del desarrollo sostenible.

CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO

Para analizar el caso de estudio se especifica el marco legal al que se somete y la pluviometría de la provincia.

Marco legal en Cuba

Para analizar el aprovechamiento de este recurso en una edificación se pueden emplear varias normas cubanas, por ejemplo: NC 48-14-1983 “Drenaje pluvial de cubiertas”, NC 176-2002 “Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de Proyecto”, NC 337-2004 “Muebles sanitarios para diferentes tipos de edificaciones. Especificaciones de proyecto”, NC 1055-4-2014 “Edificaciones-Viviendas-Parte 4: Viviendas de mediano y alto estándar-Requisitos de proyecto”, NC 775-13-2010 (Fresquet 2018) y Ley de Aguas Terrestres, establecida como Ley 124/2014. En ninguna de ellas se establecen las bases de diseño para los sistemas de captación del agua de lluvia.

En este trabajo se llama la atención a la NC 1055-4-2014 “Edificaciones-Viviendas-Parte 4: Viviendas de mediano y alto estándar-Requisitos de proyecto” por establecer, entre otros

elementos, la tipología de las viviendas según la cantidad de personas (NP), el área mínima (A) y los distintos espacios, ver tabla 1.

Tabla 1. Tipos de vivienda y parámetros que la definen

Tipo	E	D	Dd	2D	D2d	2Dd	D3d	3D	2D2d	D4d
N.P	1	2	3	4	4	5	5	6	6	6
A(m ²)	29	44	59	65	71	82	88	88	94	96

Por otra parte, se establece el índice de consumo para edificios de viviendas en 185 Lppd según (NC/CTN 2013).

Pluviometría de La Habana

Como fuente de información disponible sobre las precipitaciones en la zona de estudio se puede citar el anuario elaborado por la Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI), ver figura 1 (ONEI 2017), para una lámina media mensual de 107 mm (línea roja).

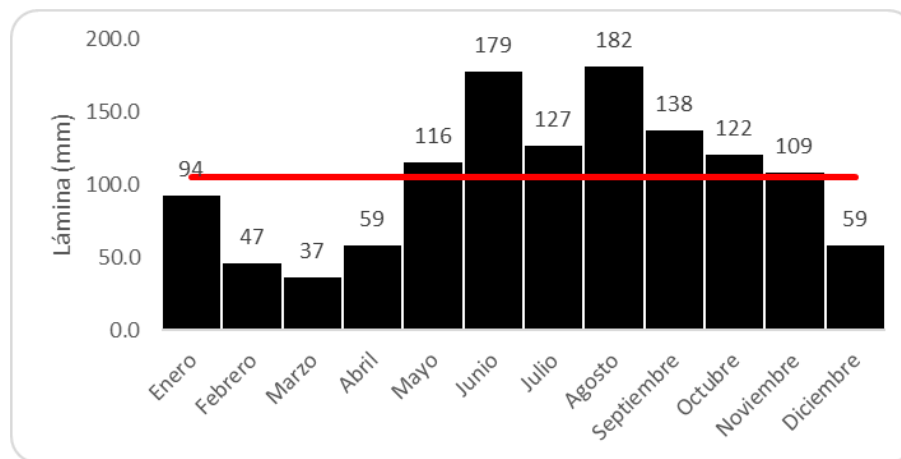


Figura 1. Lámina media mensual (2009-2016) en La Habana

PARÁMETROS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA LLUVIA

Es de destacar que en trabajos consultados se trabaja con parámetros para caracterizar el sistema de captación de agua de lluvia tales como Confianza (Da Cruz et al. 2010), Eficiencia del sistema (Da Cruz et al. 2010) y Potencial de ahorro de agua potable (Palacio 2010), que se definen mediante las siguientes ecuaciones:

$$C = \frac{T_{LL}}{T_T} \cdot 100 \quad (1)$$

donde: C es la confianza [%], T_{LL} es el periodo en que el depósito almacena la demanda [mes] y T_T es el periodo total [mes].

$$Es = \frac{V_C}{V_U} \cdot 100 \quad (2)$$

donde: E_s es la eficiencia del sistema [%], V_C es el volumen de lluvia captado [m^3] y V_U es el volumen de agua que realmente se utiliza, o sea el volumen que no se vierte [m^3].

$$PPWS = \frac{V_C}{V_D} \cdot 100 \quad (3)$$

donde: $PPWS$ es el potencial de ahorro de agua potable [%] y V_D es el volumen de agua que demanda cada piso del edificio [m^3].

Estos solo han sido mostrados como parte de la revisión bibliográfica, no fueron empleados en los cálculos para cumplir con el objetivo propuesto.

Por su parte, en este trabajo se establecen tres nuevos parámetros, que pueden ser útiles herramientas para poder caracterizar el aprovechamiento de la captación del agua lluvia. Están dirigidos específicamente a la extracción del agua, al cubrimiento de la demanda y al aprovechamiento en varios usos. Las expresiones para determinar estas se exponen a continuación:

$$K_c = \frac{V_C}{V_D} \quad (4)$$

donde: K_c es el parámetro de cubrimiento de la demanda [-].

Si el cociente es mayor que la unidad ($K_c > 1$) indica que la demanda se cubre, así como cuantas veces lo hace. Esto lleva a determinar cuántos niveles pueden emplear este recurso. Si por el contrario el valor es menor que la unidad ($K_c < 1$), entonces el recíproco indica en cuanto debe incrementarse el área de captación. También sirve para conocer en qué medida se satisface la demanda.

$$K_a = \frac{V_C - V_D}{A_p} \quad (5)$$

donde: K_a es el parámetro de captación del agua de lluvia [m^3/m^2] y A_p representa el área en planta disponible para captar agua [m^2].

Sirve para la comparación entre variantes y muestra la cantidad de agua que puede obtenerse por cada m^2 del área de captación para otros usos, una vez que se ha invertido en el uso de la descarga de inodoros. Un valor positivo, $K_a > 0$ indica que se puede llevar a cabo la captación. Al tener como divisor el área en planta unifica el potencial de captación.

$$K_p = \frac{V_C - V_D}{V_{TC} - V_D} \cdot 100 \quad (6)$$

donde: K_p es el parámetro de aprovechamiento [%] y V_{TC} representa el volumen total a consumir [m^3].

$$V_{TC} = \frac{Dot \cdot NP \cdot ND}{1000} \quad (7)$$

donde: *Dot* es la dotación = 185 Lppd, *NP* es la cantidad de personas que habitan la vivienda y *ND* representa la cantidad de días del mes = 30.

Con este parámetro se puede conocer que cantidad de agua de lluvia está disponible para otros usos una vez que se ha invertido en algún uso. Un valor positivo es señal de que se pueden satisfacer tanto este como otros.

El parámetro *Kc*, representado en la ecuación 5, tiene una estructura similar al representado en la ecuación 3, *PPWR*. Sin embargo, la principal diferencia radica en que este se expresa de forma adimensional mientras que el otro en % y, por tanto, las interpretaciones de los resultados son diferentes. El primero se dirige hacia los niveles que pueden ser cubiertos, por lo que puede tener una aplicación para la arquitectura de la estructura y el segundo hacia el ahorro de agua potable al consumir agua de lluvia.

La aplicación de estos parámetros para los distintos tipos de viviendas que establece la norma cubana antes mencionada, es una herramienta útil para la toma de decisiones desde el punto de vista arquitectónico. A partir de conocer cómo será mejor empleada el agua almacenada se podrán modificar los diseños, permitiendo un mayor confort y sostenibilidad de los recursos naturales.

EVALUACIÓN SEGÚN TIPOLOGÍA DE VIVIENDAS

Como se puede apreciar en las ecuaciones 4, 5 y 6 se hace necesario determinar los volúmenes asociados a la demanda de agua y a la captación de lluvia para cada tipología de viviendas, ver figura 2. Ambos volúmenes corresponden a un periodo de 30 días, un mes. Para el primero se asumió que el agua solo se va a emplear en los inodoros, con una demanda de 6 Lpf en cada descarga y 5 diarias.

Estudios como los de (Herrera 2010) han establecido que de los usos del agua de lluvia que pueden sustituir el agua potable es la descarga de inodoros la de mayor magnitud, alrededor del 60%. Este volumen varía al considerar la cantidad de personas. Por su parte, para determinar el volumen captado se toma en cuenta el área mínima según la tipología, según se muestra en la tabla 1, un coeficiente de escurrimiento = 0,8 (Aqua España 2016) y un valor promedio mensual de 0,107 m para la lámina de lluvia, ver figura 1.

La demanda total o volumen total a consumir, ecuación 7, ha sido determinado según el número de personas, ver tabla 2. Esta cantidad de agua es la disponible para todos los usos domésticos: cocinar alimentos, aseo personal, riego de jardín, lavar, fregar, descarga de inodoros, entre otros. La demanda de agua para la descarga de inodoros representa entre un 15 a 20 % de este.

En cuanto al comportamiento del parámetro de cubrimiento de la demanda, *Kc*, para la descarga de inodoros se presenta la figura 3. La escala de rellenos se ha usado para distinguir las viviendas según la cantidad de personas previstas. De esta forma el sólido es para viviendas de una persona, el de puntos para la de dos, el de líneas horizontales para la de tres, el de líneas

oblicuas para las de cuatro, el de líneas verticales para la de cinco y el de líneas ondeadas para la de seis.

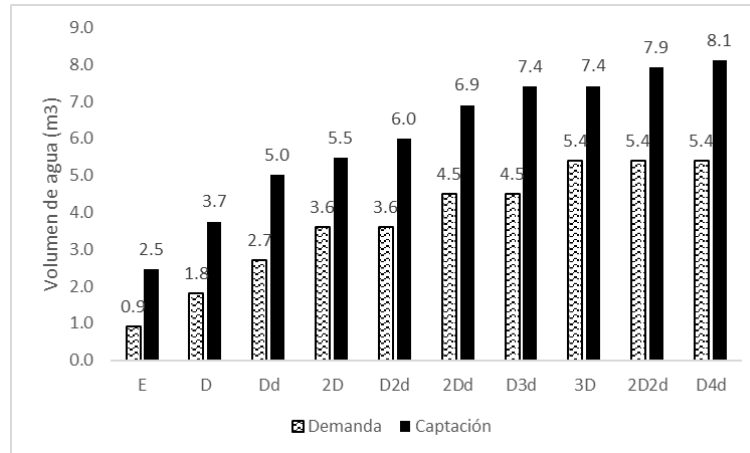


Figura 2. Captación del agua de lluvia según el tipo de vivienda

Tabla 2. Volumen total a consumir según cantidad de personas

NP	1	2	3	4	5	6				
Tipo de vivienda	E	D	Dd	2D	D2d	2Dd	D3d	3D	2D2d	D4d
V_{TC} (m ³)	5,6	11,1	16,7	22,2	27,8	27,8	33,3	33,3	33,3	33,3

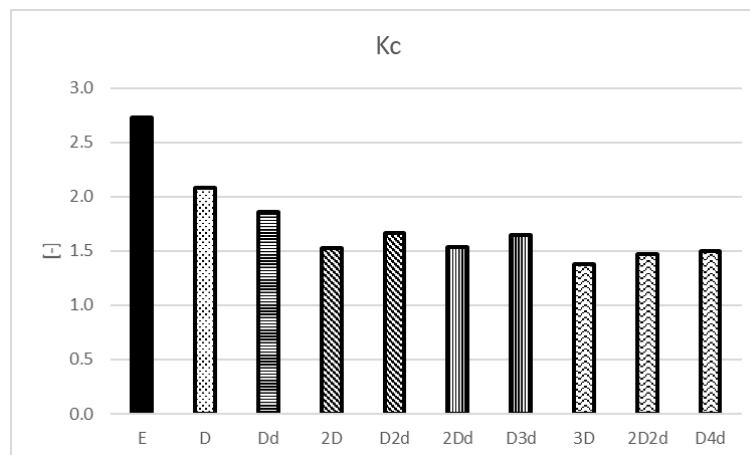


Figura 3. Cubrimiento de la demanda para inodoros según el tipo de vivienda

Como se puede ver, para todos los casos la demanda de agua para la descarga de inodoros es cubierta, pudiendo satisfacer al menos un nivel, y en algunos casos hasta dos. Con los tipos de vivienda de uno y dos personas se pueden cubrir dos niveles. En todos los casos se puede destinar el agua sobrante para otros fines. Una mayor área de captación no representa mayor cubrimiento de la demanda.

En la figura 4 se observa el comportamiento del parámetro de captación del agua de lluvia, K_a . La escala de rellenos es la misma que para la figura anterior.

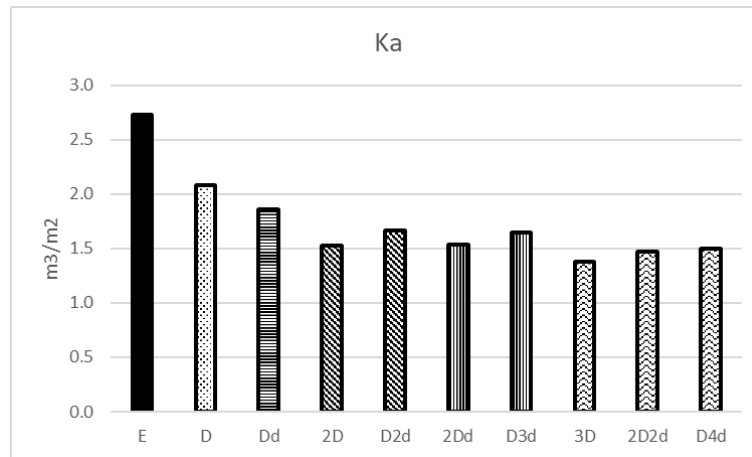


Figura 4. Captación del agua de lluvia según el tipo de vivienda.

Se puede apreciar que el comportamiento de este parámetro, al ser positivo en todos los casos, indica que se puede captar el agua de lluvia y utilizarla para otros fines una vez empleada la cantidad necesaria para la descarga de inodoros, disponiendo para estos de aproximadamente 1,5 m³ de agua por cada metro cuadrado de superficie de captación para las tipologías de 4 personas en lo adelante, y de aproximadamente 2,5 m³ por cada metro cuadrado para las restantes.

Respecto al aprovechamiento de la captación, en la figura 5 se muestra el comportamiento según el tipo de vivienda, K_p . La escala de rellenos es la misma que se ha venido usando.

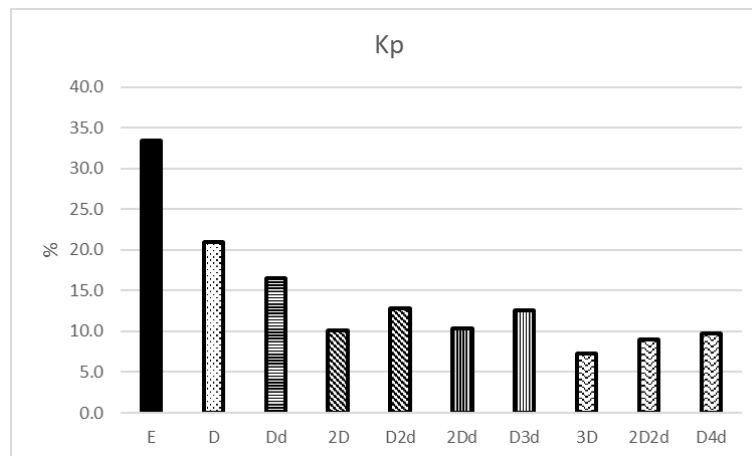


Figura 5. Aprovechamiento del agua captada según el tipo de vivienda

En esta se puede apreciar el mismo comportamiento que la anterior. Además, refleja cómo una vez que se ha cubierto la demanda de agua para la descarga de inodoros queda una cantidad para satisfacer el resto de la demanda total de agua desde un 7 a un 35 %, en dependencia del tipo de vivienda. Se puede constatar que las viviendas con capacidad de uno a tres personas son más eficientes en este sentido.

En sentido general, se puede plantear que según la pluviometría imperante la captación de agua de lluvia puede ser implementada, con éxito, para la descarga de inodoros

fundamentalmente, en los tipos de viviendas. Esto demuestra que es un método válido para el ahorro de agua en La Habana.

Llama la atención que el comportamiento de todos los parámetros presenta la misma tendencia, y es marcada la importancia que presenta el área de captación, ya que los $m^2/pers$ según cada tipología varía considerablemente, siendo mayor mientras menor es la cantidad de personas conviviendo en la vivienda, ver tabla 3, siendo estos casos los más favorecidos.

Tabla 3. Área mínima requerida y cantidad de personas según tipo de vivienda

Tipo	E	D	Dd	2D	D2d	2Dd	D3d	3D	2D2d	D4d
<i>NP</i>	1	2	3	4	4	5	5	6	6	6
Á mín. (m^2)	29	44,3	59,2	64,8	70,8	81,6	87,6	87,7	93,7	95,8
Á. unit. ($m^2/pers$)	29	22,2	19,7	17,0	17,0	16,9	16,9	15,4	15,4	15,4

Para corroborar la importancia del área de captación unitaria en estos parámetros se escogieron dos tipos de viviendas: una para cuatro personas, la D2d y otra para 6 personas, la 2D2d y se incrementó su área de captación según se muestra en la tabla 4. En las figuras 6, 7 y 8 se muestra el comportamiento de cada parámetro para el área mínima y la modificada.

Tabla 4. Variación del área para dos tipologías de vivienda

Tipo	D2d	2D2d
Área mínima (m^2)	70,8	93,7
Área modificada (m^2)	142,5	151,1
Área unitaria modificada ($m^2/pers$)	35,6	25,2

Por su parte, el incremento en el cubrimiento de la demanda para la descarga de inodoros es directamente proporcional al incremento del área, ver figura 6.

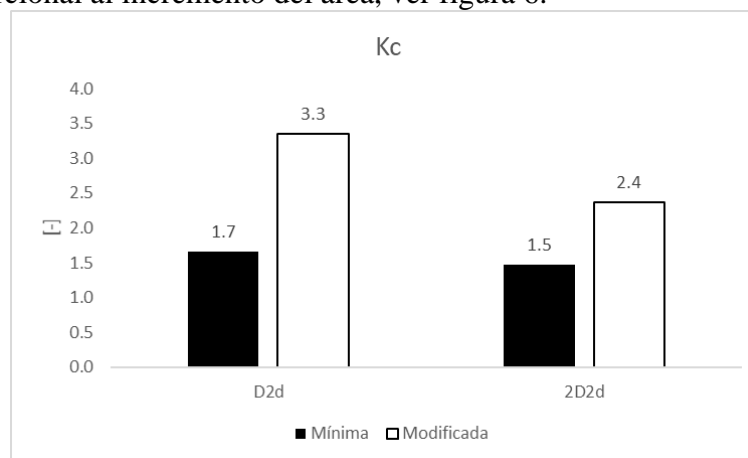


Figura 6. Variación del parámetro de cubrimiento de la demanda

Para el caso de la vivienda D2d, al incrementar dos veces el área, se incrementó dos veces más el cubrimiento de la demanda, por tanto, de un nivel llegó a 3. Para la vivienda 2D2d el incremento fue menor y, por tanto, solo alcanza un nivel más, llegando a 2.

Respecto a la captación del agua de lluvia, la cantidad de agua que se puede obtener por m^2 de área para otros usos, luego de satisfacer la de la descarga de inodoros, es significativamente superior, ver figura 7. Ahora se dispone de 25 L y 22 L más para las viviendas D2d y 2D2d, respectivamente.

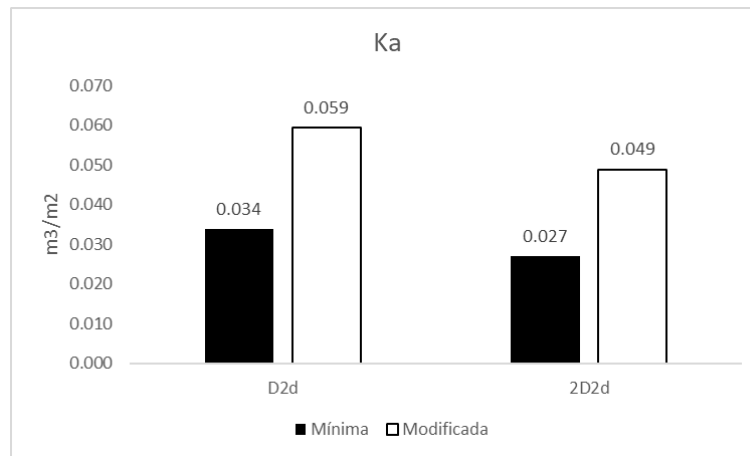


Figura 7. Variación del parámetro de captación del agua de lluvia

Respecto al aprovechamiento para otros usos, el incremento de las áreas de captación trajo consigo un incremento mucho mayor para estos fines, ver figura 8. Como se puede ver mientras mayor es el incremento del área, como la demanda para la descarga se mantiene constante, mayor se hace la cantidad de agua disponible para otros usos. Véase que para la vivienda D2d, que experimentó un incremento del doble se triplicó la posibilidad de aprovechar el recurso para otros fines. Por su parte, para la vivienda tipo 2D2d, con un incremento del 60% también se triplicó esta posibilidad.

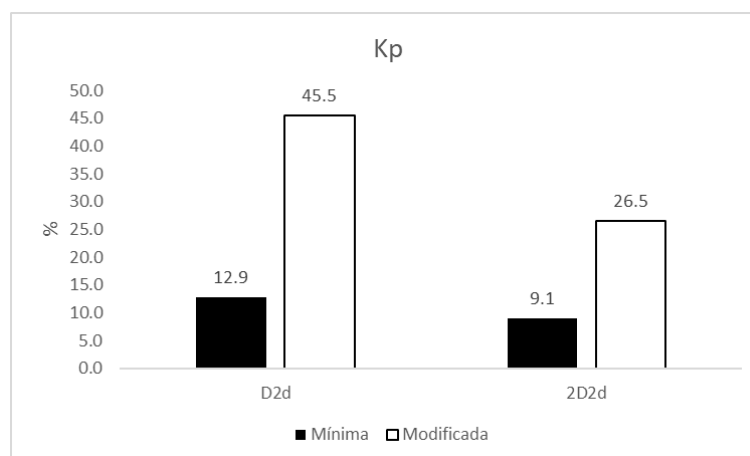


Figura 8. Variación del parámetro de aprovechamiento de la demanda

SITUACIONES HIPOTETICAS PARA LA CAPTACION DEL AGUA DE LLUVIA

A continuación, se analizan ocho casos hipotéticos que, a criterio de los autores, se consideran los más frecuentes. Los mismos se exponen en forma de problemas y parten de considerar los tipos de vivienda D2d y 2D2d modificados, ver tabla 4 y que la cubierta está revestida con asfalto ($C=0,8$).

Problema 1 (Caso 1. Volumen captado < Demanda para inodoros)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 30 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia?

La descarga de inodoros se determina mediante la expresión:

$$DI = \frac{CP \cdot USS \cdot CSS \cdot T}{1000} \quad (8)$$

donde: DI es la demanda para inodoros [m^3], CP es la cantidad de personas, USS es el uso del servicio sanitario (se asume 6 veces por persona por día), CSS es la cantidad de agua consumida en cada descarga (se asume 6 litros por descarga) y T es el tiempo (se asume 30 días).

Por tanto, para la vivienda tipo D2d la demanda para inodoros es de $4,32 m^3$ en el mes, mientras que para la vivienda tipo 2D2d es de $6,48 m^3$ en igual periodo. Por su parte, el volumen de agua captado es de $3,85 m^3$ para la D2d y de $4,08 m^3$ para la otra tipología. El valor para cada parámetro se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Valor de los parámetros para el caso 1

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	0,79	-0,006	-5,03
2D2d	0,56	-0,019	-10,64

Como lo captado es menor que lo demandado, Kc es menor que 1 y los demás parámetros dan valores negativos, lo que significa que no se puede satisfacer la demanda durante todo el mes.

Para resolver este problema se sugiere que debe incrementarse el área de las viviendas al menos a 180 y 270 m^2 , respectivamente. Con esto, en ambos casos Kc toma el valor uno (1), mientras que Ka y Kp se hacen cero. Por otra parte, en vez de incrementar el área de captación se pudiera cambiar el destino de las aguas de lluvia, y al emplearlo en otros fines con menor demanda, igual se estaría ahorrando agua potable.

Problema 2 (Caso 2. Volumen captado = Demanda para inodoros)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 38 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia?

La demanda para la descarga de inodoros es igual que en el caso anterior, pero el volumen captado varía (4,32 m³ para la vivienda de tipo D2d y 4,59 m³ para la del tipo 2D2d). Los resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Valor de los parámetros para el caso 2

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	1,00	0,000	0,00
2D2d	0,71	-0,012	-7,03

Se aprecia que para el caso D2d el volumen captado es igual a la demanda para la descarga de inodoros, no siendo así para 2D2d, por tanto, para el primero el Kc es 1 y Kp y Km valen 0. Para 2D2d se presenta el mismo problema que en el Caso 1. Por tanto, se puede satisfacer la demanda para la descarga de inodoros para las viviendas D2d y no para las 2D2d. Esta última debe variar su área hasta alcanzar, al menos, los 215 m², para que $Kc > 1$ y el resto de los indicadores sean positivos. Al igual que en el caso anterior, se pudiera emplear el agua captada para otros usos.

Problema 3 (Caso 3. Volumen captado > Demanda para inodoros)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 70 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia?

La demanda para la descarga de inodoros es igual que en los casos anteriores, pero el volumen captado varía (7,98 m³ para la vivienda de tipo D2d y 8,46 m³ para la del tipo 2D2d). Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Valor de los parámetros para el caso

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	1,85	0,026	20,47
2D2d	1,31	0,013	7,39

Se aprecia que para ambos casos se satisface la demanda, ya que Kc es mayor que la unidad.

Problema 4 (Caso 4. Volumen captado < Demanda para inodoros, pero empleo en otros fines)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 30 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia, así como otros usos?

Como se apreció en el caso para estas condiciones el Kc es menor que 1 por lo que no se cubre la demanda, pero es necesario saber si este volumen captado satisface otros usos como la jardinería que es el 25% del consumo del inodoro.

La demanda para la descarga de inodoros es igual que en los casos anteriores (4,32 m³ y 6,48 m³), por lo que la demanda de la jardinería es de 1,08 m³ y 1,62 m³ para viviendas D2d y 2D2d respectivamente. Los resultados se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Valor de los parámetros para el caso 4

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	3,17	0,016	11,08
2D2d	2,24	0,013	6,33

Como es apreciable este volumen de agua de lluvia satisface la demanda de la jardinería ya que Kc es mayor que 1 y además sobra el 11 % y 6 % para otros usos de las viviendas D2d y 2D2d respectivamente.

Problema 5 (Caso 5. Volumen captado > Demanda para inodoros y empleo en otros fines)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 70 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia, así como otros usos?

La demanda para la descarga de inodoros es igual que en los casos anteriores ($4,32 m^3$ y $6,48 m^3$), y el volumen captado es igual que el caso 3. Los resultados se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Valor de los parámetros para el caso 5

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	1,48	0,018	15,36
2D2d	1,04	0,002	1,43

Se aprecia que para ambos casos se satisface la demanda, ya que Kc es mayor que la unidad. A su vez, el valor de Kp es positivo y muestra que se puede cubrir el 15 % del resto de los usos para D2d y para la 2D2d el 1%. La captación de agua para el resto de los usos se establece en $18 L/m^2$ para la D2d y $2 L/m^2$ para la 2D2d.

Problema 6 (Caso 6. Volumen captado > Demanda para inodoros con incremento de personas)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 80 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia, al incrementarse en 4 la cantidad de personas para cada tipo de vivienda?

La demanda de los inodoros aumentó ahora la vivienda D2d para 8 personas demanda $8,64 m^3$ y la vivienda 2D2d para 10 personas demanda $10,80 m^3$. Los resultados se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Valor de los parámetros para el caso 6

Tipo de vivienda	$Kc(-)$	$Ka (m^3/m^2)$	$Kp (%)$
D2d	1,06	0,003	3,54
2D2d	0,90	-0,007	-5,02

Como lo captado es mayor que lo demandado el K_c es mayor que la unidad y se puede satisfacer la demanda en todo el mes para la vivienda D2d, sin embargo, para la vivienda 2D2d no se puede satisfacer la demanda ya que se aumentó el número de personas y el área de captación se mantuvo constante. Si se tuviera en cuenta este incremento desde la concepción de la vivienda se pudiera haber establecido un área de al menos 170 m^2 , ya que este valor es el que garantizaría el aprovechamiento mínimo adecuado para estas condiciones ($K_c= 1,01$, $K_a=0 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y $K_p=0,36\%$).

Problema 7 (Caso 7. Volumen captado > Demanda para inodoros para un área mayor e igual número de personas)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 80 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia, al incrementarse 50 m^2 para cada tipo de vivienda?

La demanda de los inodoros se mantuvo igual a los casos del 1 al 5, la vivienda D2d para 4 personas demanda $4,32 \text{ m}^3$ y la vivienda 2D2d para 6 personas demanda $6,48 \text{ m}^3$. sin embargo, el volumen de captación aumentó: $12,32 \text{ m}^3$ para el primer tipo y $12,87 \text{ m}^3$ para el segundo. Los resultados se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Valor de los parámetros para el caso 7

Tipo de vivienda	$K_c(-)$	$K_a (\text{m}^3/\text{m}^2)$	$K_p (\%)$
D2d	2,85	0,056	44,74
2D2d	1,99	0,042	23,83

Se aprecia que para ambos casos se satisface la demanda, ya que K_c es mayor que la unidad, pero para viviendas D2d se pueden cubrir casi tres niveles, mientras que para 2D2d 2. A su vez, el valor de K_p , que es positivo, muestra que se puede cubrir el 45 % del resto de los usos para D2d y para la 2D2d el 24%.

Problema 8 (Caso 8. Volumen captado > Demanda para inodoros para un área mayor e incremento del número de personas)

La lámina de lluvia caída en un mes de 30 días fue de 80 mm ¿Se puede satisfacer la descarga de inodoros mediante la captación de agua de lluvia, al incrementarse 50 m^2 para cada tipo de vivienda, así como para 4 personas más?

La demanda de los inodoros es igual al caso 6, la vivienda D2d para 8 personas demanda $8,64 \text{ m}^3$ y la vivienda 2D2d para 10 personas demanda $10,80 \text{ m}^3$. Los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Valor de los parámetros para el caso 8

Tipo de vivienda	$K_c(-)$	$K_a (\text{m}^3/\text{m}^2)$	$K_p (\%)$
D2d	1,43	0,026	27,14
2D2d	1,19	0,014	9,20

Se aprecia que para ambos casos se satisface la demanda, ya que K_c es mayor que la unidad, cubriendo solo un nivel. A su vez, el valor de K_p es positivo y muestra que se puede cubrir el 27 % del resto de los usos para D2d y para la 2D2d el 9,20 %.

Como se puede apreciar, el uso de estos indicadores puede servir para modificar el diseño inicial de las edificaciones y el de las redes hidráulicas interiores, de ser necesario. Por tanto, constituyen una herramienta para la toma de decisiones de los especialistas que deseen poner en práctica la arquitectura sostenible, que tanto terreno está ganando en la actualidad (Torres 2019).

CONCLUSIONES

- El uso de indicadores o parámetros para el aprovechamiento del agua de lluvia se ha venido aplicando por más de una década. En tal sentido, se exponen tres nuevos, que pueden ser empleados como criterios en la concepción de las áreas de las edificaciones que pretendan usar los sistemas de captación de agua de lluvia.
- Considerando las condiciones pluviométricas de La Habana, se puede apreciar que se satisface la demanda de agua en la descarga de inodoros para todas las tipologías de vivienda, así como otros fines, aun para el área mínima establecida en la NC 1055-4-2014. Lo que contribuye a un notable ahorro de agua potable.
- Se analizó el comportamiento de los parámetros presentados para casos hipotéticos, considerando una modificación en el área en planta de dos de las tipologías normadas. Así se pudo poner de manifiesto el valor práctico de estos, permitiendo definir los niveles que se pueden alcanzar para una demanda establecida, los usos que se pueden satisfacer y, en caso de no poder cubrir la demanda, el área que debería alcanzarse.

REFERENCIAS

- Aqua España** (2016). “Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios”, Ed. Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas, España.
- Da Cruz S. M., de Christan P., Teixeira C. A. y 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.
- Fresquet A.** (2018). “Sistema de captación de agua de lluvia para abastecer un edificio alto ubicado en 25 y J, Vedado”, Trabajo de diploma, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.
- Herrera L. A.** (2010). “Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia”, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Civil, IPN-ESIA, Unidad Zacatenco, México.

INRH (2014). “Plan Hidráulico Nacional 2015-2020”, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, PHN_1520, La Habana, Cuba.

NC/CTN (2013). “Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones urbanas” (en estudio), Comité Técnico de Normalización, La Habana, Cuba.

ONEI (2017). “Anuario estadístico de Cuba 2016. Medio Ambiente”, Oficina Nacional de Estadística e Información, MA: ONEI_MA2016, ISSN: 0574-6132, La Habana.

Palacio N. (2010). “Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua de lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable”, Revista Gestión y Ambiente, Vol. 13, No. 2, pp. 25 - 40, ISSN 0124-177X, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

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.