

Captación de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado, La Habana

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.

Ailime Lázara Fresquet Blanco

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

RESUMEN

El presente trabajo tiene como principal objetivo establecer las ideas conceptuales para el sistema de captación de agua de lluvia y la red hidráulica interior de agua con el objetivo de satisfacer la demanda de los inodoros de un edificio alto, donde se implementaron las normas cubanas como principal guía. Se dan a conocer las definiciones, clasificaciones generales y método de cálculo utilizado para el diseño de la red de captación y abastecimiento. Como aspecto novedoso se modela el comportamiento del llenado de la cisterna para diversas situaciones en las que la precipitación varía y se determinó, para cada una, el potencial de ahorro de la solución.

Palabras clave: agua de lluvia, descarga de inodoros, diagrama de Rippl, edificio alto.

Rainwater harvesting for toilet flood in high building in Vedado, Havana

ABSTRACT

The main objective of this work is to establish the conceptual ideas for the rainwater harvesting system and interior hydraulic network to satisfy the toilet demand of a tall building. To do this a set of Cuban regulations was implemented as the relevant guide. Besides, definitions, main classifications and design methods to determine the network and the volume of rainwater reservoir were shown. As a new aspect, behavior of reservoir filling in many situations in which precipitation vary was simulated and the saving potential of each one was calculated.

Keywords: rainwater, toilet discharge, Rippl's diagram, tall building.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se está desarrollando con gran fuerza la arquitectura sustentable, término que asocia el modo de concebir el diseño arquitectónico buscando optimizar recursos naturales y sistemas de edificación de tal modo que minimicen el impacto ambiental sobre el medio ambiente y sus habitantes.

Como una de las principales manifestaciones de la misma se encuentran los edificios verdes, los cuales están diseñados para incrementar la eficiencia con la que usan los recursos asociados a la energía, agua y materiales, mientras se reduce el impacto de la edificación en la salud humana y el ambiente durante el ciclo de vida del edificio (Viego et al. 2012).

Adoptar este tipo de concepción en Cuba se hace una necesidad, ya que según estudios realizados ha habido una reducción en el promedio anual de precipitación en Cuba en el período 1961-2000 y se prevé que esta tendencia se incremente para los próximos años (INRH 2014). Por otra parte, el desarrollo social y económico ha traído como consecuencia una mayor demanda de agua.

Ante esta contradictoria situación, la institución cubana encargada de este recurso, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), hace un llamado para implementar estrategias con el fin de revertir la situación de estrés a partir de lograr un uso más eficiente y productivo del agua, la cual deberá encaminarse al incremento de disponibilidades relativas de la misma, comenzando por incrementar la cantidad y calidad de agua a partir de otras formas no convencionales como la captación directa de agua de lluvia, entre otras (INRH 2014).

Por su parte, con el propósito de contribuir con el fondo habitacional de la ciudad de La Habana se concibe un edificio alto en la zona residencial del Vedado, el cual demanda de un servicio continuo de agua. Al encontrarse en una zona crítica en cuanto a la posibilidad de satisfacer esta condición, se requiere establecer medidas para el ahorro del agua potable. Por tanto, se establece como objetivo de este trabajo determinar las ideas conceptuales de un sistema de captación de agua de lluvia como medida de ahorro de agua potable.

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

El agua de lluvia puede reemplazar al agua potable en algunos usos domésticos e industriales, pudiendo reducir el 40% del consumo de agua potable (Pérez 2012). La captación de agua de lluvia puede llevarse a cabo por el escurrimiento en techos, patios y paredes exteriores o fachadas, ver figura 1 y se puede almacenar en cisternas, aljibes, chultunes, entre otras. A los sistemas de captación de agua de lluvias se les llama SCALL, por sus iniciales

Como todo sistema presenta ventajas y desventajas. Dentro de las ventajas se encuentran entre otras: no queda sujeto a interrupciones en la tubería, reduce la escorrentía y la erosión, disponibilidad independiente de empresas de servicios públicos, reduce criaderos de mosquitos, es pura y suave por naturaleza, gratis para quienes la recolectan y libre de cloro y sus

subproductos, pesticidas, etc. Presenta como desventajas que el agua de lluvia no es controlable durante las épocas de sequía, el agua puede llegar a contaminarse por los animales, materias orgánicas y contaminantes atmosféricos, las cisternas aumentan los costos de construcción y puede ser limitante para las familias de bajos recursos, si la cisterna no se protege puede inducir a la presencia de mosquitos y que no se cuente con la cantidad disponible (Anaya 1998).

Los SCALL van a estar formados por varios elementos, con funciones bien específicas: captación, filtración y almacenamiento. Sin embargo, bajo determinadas circunstancias, como en edificios, se agregan aquellos dedicados al bombeo y distribución (Aqua España 2016), ver figura 1, aunque los puede haber más sencillos.

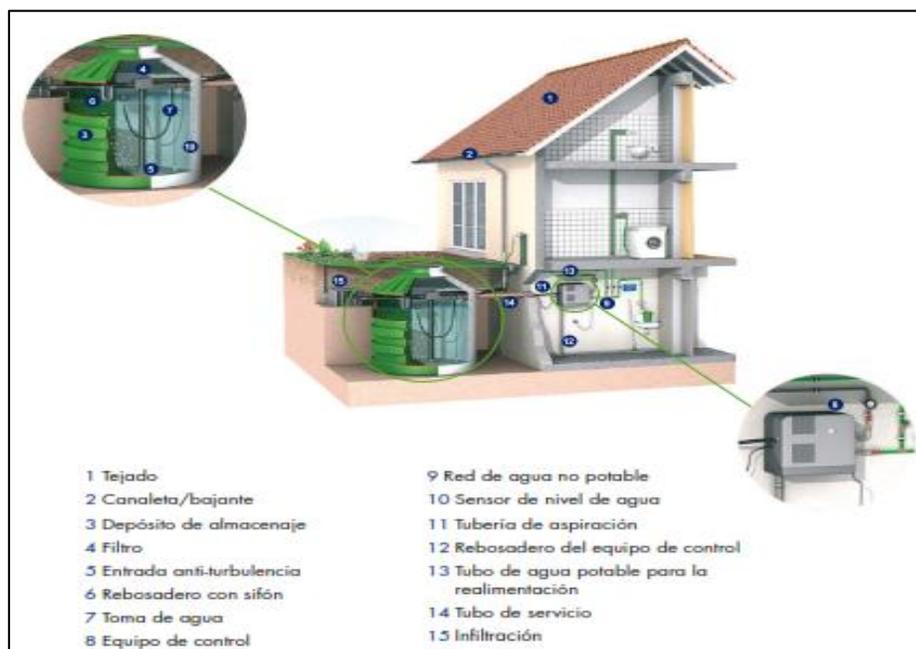


Figura 1. Componentes de la instalación para la recuperación de aguas pluviales
[tomado de Aqua España (2016)]

En la literatura consultada se aborda el parámetro denominado Potencial de Ahorro de Agua Potable (PPWS por sus siglas en inglés), que se expresa en %, según la expresión siguiente:

$$PPWS = 100 \cdot \frac{VR}{PWD} \quad (1)$$

donde: VR es el volumen mensual de agua lluvia que puede ser recolectado [m^3/mes],
 PWD es la demanda mensual de agua potable [m^3/mes]. El mismo ha sido empleado en varios casos según reporta Palacio (2010).

Área de captación

Como su nombre lo indica este elemento es de gran importancia y considera una serie de situaciones como azoteas, patios, fachadas de edificios y áreas rurales, entre otras. Para el caso de azoteas, el material que la compone define cuánta agua de lluvia no va a ser colectada dadas la infiltración y evaporación que se pueden experimentar (Aqua España 2016). Este fenómeno se toma en cuenta a partir del coeficiente de escurrimiento, el cual según la literatura consultada varía su valor, aunque hay una tendencia a escoger 0,8. En sentido general el aporte mensual se determina por la siguiente expresión:

$$Q = C \cdot I \cdot A \quad (2)$$

donde: Q es el volumen de agua captado en el tiempo establecido [m^3], C es el coeficiente de escurrimiento = 0,8 tomado de Aqua España (2016), I es la precipitación en el periodo de tiempo establecido [mm] y A es el área de captación [m^2]. Generalmente, el intervalo de tiempo que se considera para estos cálculos es mensual.

Sistema de evacuación del agua de lluvia

Para evacuar el agua pluvial se debe diseñar el canal colector, la rejilla o tragante (de ser necesario) y el bajante pluvial mediante la norma cubana NC 600:2008:“Edificaciones. Requisitos de diseño del sistema de drenaje pluvial”. Por su parte el filtro se coloca antes de la cisterna, siendo su función más importante la de retener elementos de mayor tamaño y otras suciedades que pueden ser arrastradas por el agua (Fresquet 2018).

Para determinar el volumen de la cisterna se aplicó el método de Rippl (Giacchini 2016). Este se basa en evaluar mensualmente las salidas y entradas de agua para determinar cuánto volumen debe almacenarse cuando sobra para satisfacer los meses de déficit (diferencia entre demanda y captación).

En cuanto a la red de impulsión, esta está compuesta por la bomba hidráulica conectada a la cisterna, las tuberías de descarga e impulsión asociadas y los tanques ubicados en la azotea. Para esto se emplean la ecuación de Bernoulli y la ecuación de Weisbach-Darcy para las pérdidas de energía, según lo establece la norma NC 176:2008 “Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de Proyecto” (Fresquet 2018). Por su parte, la red de distribución del agua de lluvia está constituida por las tuberías de distribución y depósitos intermedios hasta el punto de descarga, que son los inodoros.

CARACTERÍSTICAS DEL CASO DE ESTUDIO

Características arquitectónicas

Esta edificación, con 10 niveles habitacionales correspondientes a 35 m de altura, estará ubicado en la esquina de calle 25 y calle J, Vedado, La Habana. Es de destacar que en un radio de 200 m se encuentran grandes consumidores de agua como la Facultad de Biología, el campus

central de la Universidad de La Habana, la heladería Coppelia, el restaurante Siete Mares, la pizzería Buona Sera, el hotel Habana Libre Trip y otros establecimientos gastronómicos, así como varios edificios de viviendas.

El primer nivel habitacional está conformado por cinco apartamentos, de ellos uno es del tipo D2d (para cuatro personas) y los cuatro restantes son 2D2d (para seis personas). Por su parte, en el 2do. nivel se ubicarán 6 apartamentos, 2 del tipo D2d y 4 2D2d, este diseño se utilizará repetitivamente en todas las plantas restantes, hasta culminar con los niveles habitacionales en el décimo nivel, logrando un total de 59 apartamentos, de ellos 40 del tipo 2D2d y 19 D2d. Esta nomenclatura responde a la norma NC 1055-4:2014 “Edificaciones-Viviendas-Parte 4: Viviendas de mediano y alto estándar-Requisitos de proyecto” (Fresquet 2018), ver figura 2.

Por tanto, la cantidad de inodoros a considerar es de 118, siendo estos de doble descarga. El número de personas según los apartamentos es de 316.

Si cada persona realiza diariamente seis descargas: 5 de 2 litros y 1 de 4 litros, para una demanda diaria de 14 litros por persona, entonces la demanda mensual para todo el edificio es de 135 m³, como valor promedio, y de 1615 m³ al año (producto de la multiplicación del consumo diario, la cantidad de personas y los días del año). El área ocupada por la azotea es de 1 775 m².

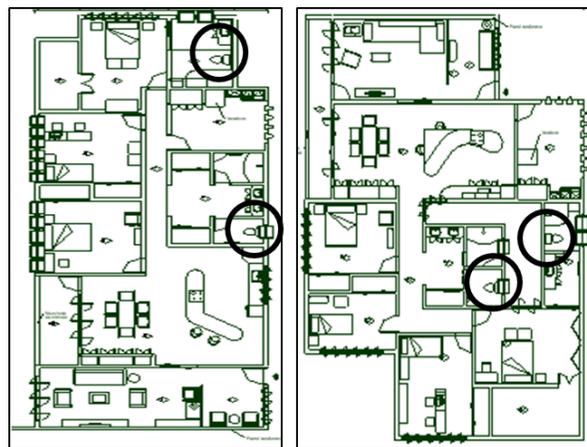


Figura 2. Esquema de las viviendas

Pluviometría

De la información sobre las variables climáticas se centra la atención en la pluviometría, por estar dirigido el trabajo a la captación de agua de lluvia.

Para la misma se consultaron los informes que periódicamente emite la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI 2017) correspondientes a los años desde 2009 hasta 2016, por ser los disponibles en el sitio web de la misma.

En la tabla 1 se muestran la lámina mensual en mm y en la figura 3 el valor promedio de cada mes.

Tabla 1. Lámina de lluvia mensual - periodo 2009 – 2016

Meses/Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	49,4	24,6	117,4	63	5,3	93,5	97,6	298,4
Febrero	27,7	122,8	2,1	34	38,5	76,8	44,0	27,3
Marzo	26,2	36,0	12,0	43	65,8	76,8	23,1	15,0
Abril	6,3	93,4	27,8	98	63,0	33,2	144,0	4,4
Mayo	216,3	50,2	75,2	199	132,0	189,6	37,2	28,8
Junio	111,8	119,3	172,8	248	190,9	120,9	215,7	252,2
Julio	77,4	222,7	170,6	102	214,3	113	46,5	72,9
Agosto	178,2	149,6	172,2	194	200,4	176,3	85,7	302,3
Septiembre	81,8	154,8	153,1	148	243,6	105,8	84,0	135,7
Octubre	73,3	88,4	266,1	159	50,6	123,9	127,4	84,2
Noviembre	75,2	105,4	40,5	20	322,2	187,6	91,5	31,9
Diciembre	48,2	27,4	57,7	16	71,1	55	132,6	62,4
Anual	972	1195	1268	1324	1598	1352	1129	1316
Media	81,0	99,5	105,6	110,3	133,1	112,7	94,1	109,6

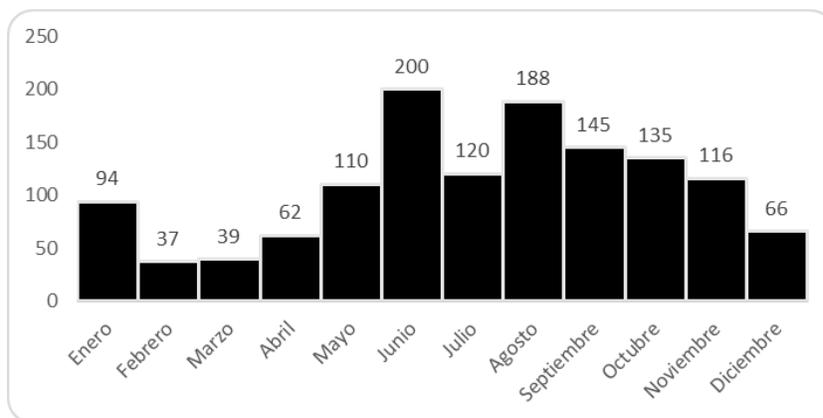


Figura 3. Lámina media mensual (2009-2016)

MODELACION DEL LLENADO DE LA CISTERNA

Sistema de evacuación de las aguas de lluvia

Para el diseño de los canales colectores según la norma NC 600:2008 “Edificaciones. Requisitos de diseño del sistema de drenaje pluvial” se fija un canal con una sección semicircular de diámetro de 200 mm, siendo el factor de tirante de 0,3; la pendiente de 0,04 m/m y la velocidad de 0,6 m/s. Por tanto, el caudal de circulación es de 0,019 m³/s.

Para los bajantes pluviales según dicha norma, el gasto de circulación se determinó por el nomograma considerando que el edificio es de categoría C, la probabilidad de diseño de 10%, la lámina de lluvia del 1% de 350 mm y la intensidad de 2,6 mm/min. Por tanto, el gasto es de 70 L/s. El diámetro nominal para este caudal de aporte es 200 mm, como el diámetro máximo es de 100 mm se decide colocar 4 bajantes de 100 mm, en pares de dos, con una separación máxima de 24 m.

En este caso no se necesita que la rejilla capte el agua pluvial porque se desea almacenar en una cisterna, por tanto no se diseñará el tragante pluvial.

Con la demanda mensual y lo que se puede captar cada mes, a partir del promedio de la lluvia entre los años 2009-2016, se realiza un balance hídrico estableciendo los excesos y los déficits aplicando el método de Rippl (Giacchini 2016).

Para establecer estos últimos se halla la diferencia entre Demanda (columna 3, tabla 2) y Captación (columna 4, tabla 2), si es negativa es un exceso y si es positiva un déficit, columnas 5 y 6 de la tabla 2, respectivamente. Las expresiones para determinar estas se exponen a continuación.

$$Dem = Nd \cdot Np \cdot Nv \cdot Desc / 1000 \quad (3)$$

donde: *Dem* es la demanda de agua mensual para satisfacer la descarga de los inodoros [m³], *Np* es la cantidad de personas por vivienda, *Nv* es la cantidad de viviendas en el edificio y *Desc* es el volumen diario requerido en cada descarga [L].

$$Cap = A \cdot C \cdot La / 1000 \quad (4)$$

donde: *Cap* es la captación [m³] y *La* es la lámina mensual caída [mm].

De la observación de los primeros se puede precisar cuándo comienza el periodo húmedo o la acumulación y vertimiento de agua en la cisterna. La suma de los segundos indicará el volumen de la misma, ver tabla 2.

Como se puede apreciar la suma del déficit establece el volumen de la cisterna, siendo 245 m³. Por otra parte, se define comenzar el estado de llenado a partir del mes en el que la captación comienza a ser mayor que la demanda, lo que corresponde a mayo. A partir de este se acumulan el exceso del mes anterior y se resta el déficit (columna 7, tabla 2). Cuando el acumulado sea mayor que la suma de los déficits se vierte (columna 8, tabla 2.)

Además, a partir de agosto y hasta noviembre las entradas junto con lo almacenado se hacen mucho mayor que las salidas, por lo que en este periodo las entradas, total o parcialmente, no son acumuladas y se vierten.

Tabla 2. Balance hídrico general

Mes	Días	Demanda	Captación	Déficit	Exceso	Estado	Vertido
	m ³						
Enero	31	137	133	4	-	198	-
Febrero	28	124	53	71	-	126	-
Marzo	31	137	56	81	-	45	-
Abril	30	133	88	45	-	0	-
Mayo	31	137	157	-	-19	19	-
Junio	30	133	284	-	-151	171	-
Julio	31	137	170	-	-33	204	-
Agosto	31	137	268	-	-131	245	89
Septiembre	30	133	206	-	-73	245	73
Octubre	31	137	192	-	-55	245	55
Noviembre	30	133	164	-	-31	245	31
Diciembre	31	137	93	44	-	202	-
TOTAL	365	1615	1863	245	495		249

Sistema de impulsión de las aguas de lluvia

El caudal de bombeo se determina, según la norma NC 176:2002 “Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de Proyecto”, como la suma entre la reserva de agua destinada a satisfacer la demanda máxima probable (*DMP*) y la reserva para las condiciones normales dividido por el tiempo de llenado, definido como dos horas (Fresquet 2018). Como la primera es de 0,62 m³ y la segunda es de 0,56 m³, el caudal es de 0,59 m³/h. Esto responde a un único tanque, que se ubicaría en la azotea. Sin embargo, se prevén dos: uno en la azotea y otro en el piso 6, por lo que el gasto total es el doble, o sea 1,18 m³/h. Estos aspectos serán aclarados más adelante. Por su parte, la carga de la bomba considera la carga estática y las pérdidas de carga para un total de 40 m.

La red conectada a esta bomba fue diseñada considerando el caudal de bombeo y una velocidad económica de 0,9 m/s, por tanto, el diámetro de la misma es de 129 mm, siendo el comercial más cercano de 150 mm. Teniendo en cuenta la longitud por tramo reto (50 m) y la longitud equivalente debido a los accesorios empleados (82 m), ver tabla 3, la longitud total fue de 132 m.

Tabla 3. Longitud equivalente para los accesorios empleados.

Accesorio	Lequiv unitaria (m)	Cantidad	Long equiv (m)
Codo 90°	6,4	8	51,2
Te	13,11	1	13,11
válvula check	16,16	1	16,16
válvula cuña	1,37	1	1,37
		Total	81,84

Como el edificio presenta diez niveles, para cumplir con la norma anterior que establece que la presión en los puntos de descarga de los inodoros debe estar entre 1,5 y 30 mca, se decidió colocar dos tanques: uno en la azotea que abastezca desde el décimo hasta el sexto y otro en el sexto que abastezca desde el quinto hasta el primero, por lo que se tendrán dos tanques de 0,70 m³.

El volumen se calcula considerando la reserva para la *DMP* y las condiciones normales, para un valor de 1,2 m³, pero considerando que este se divide en dos, entonces el volumen de cada uno es 0,60 m³ y con más de un 17 % de reserva, se llega al valor de 0,70 m³. En la figura 4 se muestra un esquema de la red del sistema de impulsión.

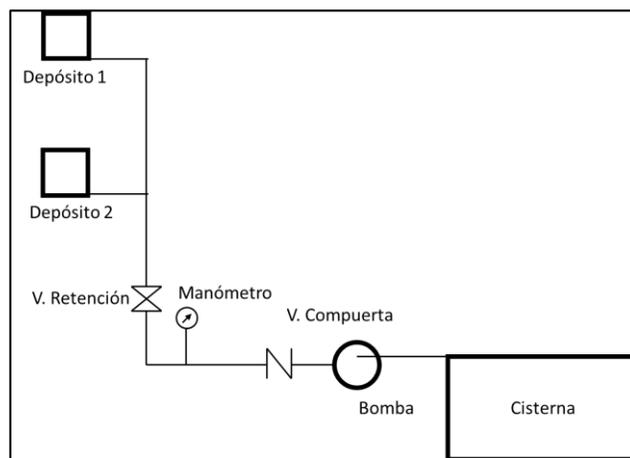


Figura 4. Esquema del sistema de impulsión

Sistema de distribución de las aguas de lluvia

Para diseñar la red de distribución se determinó la *DMP* mediante el método de Hunter, ver ecuación 5.

$$Q_m = f(\Sigma x UC) + Q_p \quad (5)$$

donde: Q_m es la *DMP* en el tramo considerado [L/s], $\Sigma x UC$ es la suma de las unidades de consumo (*UC*) correspondientes a los muebles sanitarios que abastece el tramo, f es la función que expresa la *DMP* teniendo en cuenta la simultaneidad de uso y Q_p es el caudal correspondiente a los muebles sanitarios que funcionan de forma simultánea y cuyo consumo puede coincidir (sumándose) con la *DMP* de otros equipos o artefactos hidráulicos instalados en el sistema, igual a cero en este caso.

Inicialmente se calculó el diámetro para el bajante (tramo de tubería que va desde los tanques hasta cada piso y del que se derivan los ramales). Como en su descenso la cantidad de unidades

de consumo (inodoros) disminuye por piso y la velocidad aumenta, el diámetro también disminuye, ver tabla 4.

Tabla 4. Diámetro por tramos del bajante

Tramo	V (m/s)	Inodoros	UC	Q (L/s)	D (mm)
Az-10	0,5	60	180	3,85	100
10-9	1,0	48	144	3,37	63
9-8	1,0	36	108	2,86	63
8-7	1,5	24	72	2,25	50
7-6	2,0	12	36	1,45	32
6-5	0,5	58	174	3,77	100
5-4	1,0	46	138	3,28	63
4-3	1,0	34	102	2,77	63
3-2	1,5	22	66	2,13	38
2-1	2,0	10	30	1,26	32

Véase en la misma que en la columna 1 se muestran los diferentes tramos, donde Az significa azotea. En la columna 2, V es velocidad y esta se ha impuesto. En la columna 3 se relacionan la cantidad de inodoros que se deben servir según el tramo de tubería, por eso en los tramos Az-10 y 6-5 la cantidad es menor.

Debe recordarse que se establecieron dos sistemas de tuberías, según se explicó anteriormente. La columna 4 hace mención a las unidades de consumo (UC), que se determinaron a partir de la norma NC 176:2002 “Sistema de abasto de agua en edificios sociales. Requisitos de Proyecto”, en la que establece para los inodoros el valor de 3.

Por tanto, cada cantidad de inodoros fue multiplicada por este. Los valores de caudal de la columna 5 fueron obtenidos de la misma norma. Los diámetros de la columna 6 fueron obtenidos por continuidad. Es preciso destacar el comportamiento de telescopio que presenta el bajante, en donde el diámetro varía desde 32 hasta 100 mm.

En cada piso se realizó el mismo cálculo, teniendo en cuenta que el primero tiene una distribución diferente a los otros niveles. Por su parte, el bajante es colocado de forma que la distribución es simétrica, por tanto, en cada piso habrá dos distribuidoras de 25 mm de diámetro.

Modelado del depósito de almacenamiento (cisterna)

Para conocer qué sucedería con el llenado de la cisterna si se volviera a repetir pluviométricamente un año igual a cualquiera de los años considerados (2009 a 2016), se analizó cada uno de ellos. El volumen de la cisterna corresponde con el ya calculado (245 m³), y a partir de este valor, se realiza el balance hídrico (tabla 5), determinando el por ciento de agua potable que se ahorra (tabla 6) con la lámina de lluvia correspondiente, mediante la siguiente expresión:

$$PAAP = \frac{VAAP}{DAAP} \cdot 100 \quad (6)$$

donde: *PAAP* es el porcentaje de ahorro de agua potable, *VAAP* es el volumen anual de agua potable que se ha ahorrado [m³] y *DAAP* es la demanda anual de agua potable [m³]. Esta última es la suma de las demandas mensuales, ver de la tabla 2 la columna 3. Por su parte, *VAAP* es la suma del ahorro mensual, ver ecuación 7. Este valor se obtiene mes a mes determinando el estado de llenado de la cisterna.

$$Amen = \begin{cases} Cap; Est_{ant} < 0 \\ Cap + Est_{ant}; Cap + Est_{ant} > 0 \end{cases} \quad (7)$$

donde: *Amen* es el ahorro mensual [m³],
Est_{ant} es el estado de llenado al comenzar el mes [m³].

El análisis de las entradas y salidas de agua tiene como premisa que al comienzo de enero no hay agua acumulada, por lo que sería el caso más desfavorable. Los números negativos indican que no se satisface la demanda y, por tanto, cuánta agua potable se necesitaría en ese mes. Por su parte, los valores positivos indican el volumen de llenado al finalizar el mes. En la última fila se muestra la cantidad de meses en que no se satisface la demanda de agua para el objetivo trazado.

Tabla 5. Estado de llenado para cada año

Mes/Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Enero	-67	-102	30	-48	-130	94	1	245
Febrero	-85	51	-91	-76	-69	77	-60	160
Marzo	-100	-36	-120	-76	-44	77	-104	44
Abril	-124	0	-93	6	-43	33	72	-82
Mayo	170	-66	-30	152	50	190	-13	-96
Junio	196	37	113	245	189	121	174	225
Julio	169	216	218	245	245	113	102	192
Agosto	245	245	245	245	245	176	87	245
Septiembre	228	245	245	245	245	106	74	245
Octubre	195	233	245	245	180	124	117	227
Noviembre	169	245	170	141	245	188	115	140
Diciembre	101	147	115	26	209	55	166	91
Sin servicio	4	3	4	3	4	0	3	2

En la misma se aprecia que de los 96 meses analizados en 73 se satisface totalmente la demanda y en 23 esto ocurre parcialmente. El mes más crítico es enero del 2013 en el que se requieren 130 de los 137 m³ de agua potable. El año con más cubrimiento es el 2014, en el que se cubre la demanda en todos los meses.

En la tabla 6 se muestra el volumen de agua de lluvia que fue utilizado anualmente, lo que representa un ahorro de agua potable, cuánto de esta última se requiere para llegar a los 1 615 m³ y el volumen que no se almacena en la cisterna y que se debe incorporar al drenaje pluvial urbano o a otro uso.

A partir de esta se puede apreciar que tiene lugar un importante ahorro de agua, ya que se cubre la demanda entre un 77 y un 92 %. Por tanto, de los 12 920 m³ de agua potable que se requieren para todo el periodo se cubren 11 030 m³, para un 85 %.

Es decir, que la empresa de acueducto solo tendrá que disponer de 1 890 m³ para este fin, prácticamente solo lo que requiere un año, por tanto, hay 7 años de ahorro. Respecto al volumen de agua que no se almacena se destaca que en el 2015 no hay vertimiento, mientras que en 2013 es cuando más ocurre.

Tabla 6. Ahorro de agua potable en cada año

Año	Ahorro		Agua Potable		Vertimiento
	m ³	%	m ³	%	m ³
2009	1239	77	376	23	40
2010	1411	87	204	13	138
2011	1280	79	335	21	406
2012	1415	88	200	12	438
2013	1329	82	286	18	731
2014	1482	92	133	8	253
2015	1438	89	177	11	0
2016	1436	89	179	11	340

Si se considera que al empezar el enero de cada año se dispone en la cisterna del estado con el que termina diciembre según tabla 2, es decir 202 m³, entonces se obtendría que se cubrirá el 96% de la demanda (12 348 m³, ver tabla 7), requiriendo por parte del acueducto solo 570 m³ y solo 12 de los 96 meses no se cubrirá la demanda, siendo el más crítico abril de 2009, con 124 de los 137 m³ de agua potable.

Como se puede apreciar el ahorro de agua potable mejoró satisfactoriamente, oscilando entre el 89 y el 100%. Este último ocurre para cuatro años.

Vale la pena señalar que en el único año que no hubo mejoras fue en el 2016, ya que, en enero de ese año, con solo la captación de agua de lluvia, se satisface la demanda exigida debido al alto valor de las precipitaciones.

Por tanto, un volumen inicial al comienzo del año lo único que realiza es incrementar el volumen de agua vertido, siendo ahora de 542 m³.

Tabla 7. Ahorro de agua potable en cada año considerando un volumen inicial

Año	Ahorro		Agua Potable	
	m ³	%	m ³	%
2009	1441	89	174	11
2010	1613	100	2	0
2011	1482	92	133	8
2012	1615	100	0	0
2013	1531	95	84	5
2014	1615	100	0	0
2015	1615	100	0	0
2016	1436	89	179	11

CONCLUSIONES

- El edificio alto, objeto de estudio, ha sido caracterizado considerando la cantidad de servicios sanitarios con que cuenta y la cantidad de personas para la que fue diseñado. También se tuvo en cuenta la pluviometría que incide sobre la zona, la cual abarca un periodo de ocho años (2009-2016), con una media mensual de 109 mm de lámina caída y 1 312 mm de lámina promedio anual.
- Siguiendo las indicaciones técnicas establecidas en las diferentes normas cubanas se han establecido las ideas conceptuales de los elementos que componen los sistemas de captación de agua de lluvia. El único que no se encuentra regulado es el volumen de la cisterna para el almacenamiento de este líquido, por lo que se empleó el método de Rippl. Con este se determinó el balance hídrico para el periodo abordado y el mes en el que comienza el comportamiento del llenado y vaciado del depósito, en este caso el mes de mayo.
- Una vez establecido el valor del volumen para la cisterna se comprobó la efectividad en cuanto al ahorro del agua potable. El empleo del método de Rippl permitió modelar, mes a mes, cada uno de los años, siendo el más crítico el 2009, que, a su vez, contribuyó con un ahorro entre el 77 y el 89 %, para las dos condiciones modeladas.
- En sentido general, con la implementación de este tipo de sistemas para esta edificación, se puede lograr un ahorro de agua potable entre los 11 030 y los 12 348 m³ en solo 8 años al destinar agua de lluvia para la descarga de inodoros.

REFERENCIAS

- Anaya M.** (1998). “Sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico en América Latina y El Caribe. Manual Técnico”, Ed. Agencia de Cooperación Técnica IICA-México, México.
- Aqua España** (2016). “Guía Técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios”, Ed. Asociación Española de Empresas de Tratamiento y Control de Aguas, España.
- 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.
- Giacchini M.** (2016). “O metodo de Rippl para dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento da água de chuva”, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC’2016, Sociedad Científica da Engenharia e da Agronomia, DE-Vol. 5, pp. 681-685. Foz do Iguaçú, Brasil.
- INRH** (2014). “Plan Hidráulico Nacional 2015-2020”, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, PHN_1520, 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, Dic.
- 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..
- Pérez A.** (2012). “Uso del agua de lluvia: retroceso al futuro”, Revista Energía y tú, No. 60, octubre - diciembre, pp. 13 - 16, ISSN 1028-9925, Cubasolar, La Habana.
- Viego P., Cambra A., Cortiza R. y Martínez T.** (2012). “Edificios inteligentes”, Revista Energía y tú, No. 60, octubre - diciembre, pp. 29 - 32, ISSN 1028-9925, Cubasolar, La Habana.