



**SUELO Y AGUA**  
**SOIL AND WATER**



<https://eqrcode.co/a/DPOnxz>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

## Hydraulic Design of Irrigation Systems for Gardens in Cuba

### *Diseño hidráulico de sistemas de riego para jardines en Cuba*

Msc. Yemir Pino Puebla<sup>I</sup>, Dr.C. Albi Mujica Cervantes<sup>II</sup>, Dr.C. Mayra Emeria González Díaz<sup>III</sup>.

<sup>I</sup> Empresa de Ingeniería y Arquitectura # 11 (EPIA-11), Camagüey, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>III</sup> FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations, in Cuba.

**ABSTRACT.** This research shows the results obtained, during the conformation of design criteria, to ensure the built and management of irrigation systems in gardens efficiently. Aspects related to the determination of irrigation requirements, water use and supply sources; according to climate conditions, were included. Design tools are addressed to rationalize the system, guarantee water efficiency, facilitate its building according to available resources, specifying irrigation frameworks, spacing between sprinklers and laterals, as well as network schemes. Elements are detailed on sizing of sprinkler circuits, main distribution network, automatic control system and pumping station. These design criteria were applied in tourist centers in Cayo Santa María, Cayo Coco and Cayo Cruz, Cuba.

**Keywords:** Design Criteria, Water Use, Irrigation Frameworks Spacing between Sprinklers.

**RESUMEN.** En la presente investigación se muestran los resultados obtenidos, durante la conformación de criterios de diseño, para garantizar la ejecución y explotación de sistemas de riego en jardines de forma eficiente. Se incluyeron aspectos relacionados con la determinación de las necesidades de riego, uso del agua, fuentes de abasto, según condiciones climatológicas regionales. Se abordan herramientas para racionalizar el sistema, garantizar eficiencia hídrica, facilitar su ejecución según recursos disponibles, especificando marco de riego, espaciamiento entre aspersores y laterales, así como esquemas de redes. Se detallan elementos sobre dimensionado de circuitos porta aspersores, red principal de distribución, sistema de control automático y estación de bombeo. Estos criterios de diseño fueron aplicados en centros turísticos de Cayo Santa María, Cayo Coco y Cayo Cruz, Cuba.

**Palabras clave:** criterios de diseño, uso del agua, marco de riego, espaciamiento entre aspersores.

### INTRODUCTION

During the design, construction, management and exploitation of Gardens, various factors intervene, being of maximum interest, the landscaping, plants, climate conditions, earth movement, rainwater drainage and irrigation system, among others. The acceleration of climate change, along with its

### INTRODUCCIÓN

Durante el diseño, ejecución, manejo y explotación de jardines, intervienen varios factores, siendo de interés, el paisajismo, vegetación, climatología, movimiento de tierra, drenaje pluvial y sistema de riego, entre otros. Los efectos del cambio climático influyen negativamente sobre el desarrollo

<sup>1</sup> Author for correspondence: Yemir Pino Puebla, e-mail: yemir@epiaonce.cu

Received: 15/12/2019.

Approved: 25/09/2020.

effects, have a negative influence on the optimal development of plants in ecosystems and it is important to have a high efficient irrigation system that adapts to the conditions of exploitation facilities. The preservation of native vegetation, selection of plants, the use of water and alternative sources of reuse, will play an important role to complement with hydraulic design of the rational irrigation network.

In the design process, water requirements and supply sources, together with the hydraulic network scheme, must be defined, including the type of irrigation (drip, spray or rotating sprinklers), selection and location of sprinklers, irrigation framework, lateral pipe sizing, sprinkler circuit and main irrigation network, using computer tools that streamline the system. There is not a method in Cuba that, allows the creation of a rational design for high efficiency of irrigation systems in gardens, integrated into the constructive dynamics. Therefore, that is the objective of this research, and the solution to this problem, its main scientific contribution.

## MATERIALS AND METHODS

### Irrigation Requirements and Supply Water Sources†

The reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is determine using Penman-Monteith (Solano *et al.*, 2003), applied by Pino & Mujica (2007) and widely used with good results (Da Silva, 2016). For the climate of Cuba, ET<sub>o</sub> ranges from 5.0 to 6.3 mm/day. The usable precipitation is defined using the expressions given by Pacheco *et al.* (2004), the actual evapotranspiration is required by taking as values of the crop coefficient, those referred by Lamote (2002). The crop evapotranspiration rate or calculated (ET<sub>c</sub>) will be expressed by:  $ET_c = ET_o \cdot K_c$ .

Net irrigation requirements (H<sub>n</sub>) are determined according to the general equation for the water balance:  $H_n = ET_c - P_a$  (usable precipitation) and gross sheet:  $H_b = H_n / \text{Efficiency}$  (85% sprinkler - 95% drip). Regarding the type of water to be used, the reuse of rainwater, in combination with treated wastewater (including nutrients), is fundamentally recommended to decrease exploitation costs and integrating with drainage systems, to guarantee sustainability in the management and use of irrigation water.

TABLE 1. Kc Values (crop coefficient) for gardens  
TABLA 1. Valores de Kc (coeficiente del cultivo) para jardines

Plants Type	Kc
Shrubs and plants. Arid zones. (preferably hose irrigation)	0.3
Ornamental Shrubs	0.8
Upholstery and flower beds	1.0
Singular trees	0.7
Lawn	1.0

### Rational Irrigation Layout, New Hydraulic Design. Sprinklers Circuits

In uniform areas of grass, sprinkler irrigation is applied, in shrubs, pots and trees, drip irrigation is applied and for upholstery and flowerbeds, spray with retracted height is applied. Underground hoses with bubblers can be an option, in large

de la vegetación, siendo importante disponer de un sistema de riego de alta eficiencia hidráulica, que se adapte a las condiciones de explotación de las instalaciones. La preservación de la vegetación autóctona, selección de plantas a sembrar, el uso del agua y fuentes alternativas de reuso, desempeñarán un importante papel, a complementar con un diseño hidráulico de la red de riego racional.

En el proceso de diseño, se deben definir las necesidades hídricas, fuentes de abasto, esquemas hidráulicos de redes, tipo de riego (localizado, micro o aspersión), selección y ubicación de aspersores, marco de riego, dimensionamiento de laterales, circuito porta aspersores y red principal de riego, empleando herramientas informáticas. En Cuba no se cuenta con un método, o norma, que permita la conformación de un diseño racional, que garantice alta eficiencia de los sistemas de riego en jardines, integrado a la dinámica constructiva, lo cual constituye la motivación principal de esta investigación, y la solución a este problema su principal aporte científico.

## MATERIALES Y METODOS

### Requerimientos de riego y fuentes de Abasto

Determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), mediante Penman-Monteith Solano *et al.* (2003), aplicado por Pino & Mujica (2007), muy empleado con buenos resultados (Da Silva, 2016). Para el clima de Cuba la (ET<sub>o</sub>) oscila entre 5,0 y 6,3 mm/día. Precipitación aprovechable se define, utilizando las expresiones dadas por Pacheco *et al.* (2004), la evapotranspiración real, tomando valores de coeficiente del cultivo, referidos por Lamote (2002). Evapotranspiración real o calculada del cultivo (ET<sub>c</sub>) se expresará por:  $ET_c = ET_o \cdot K_c$ .

Necesidades netas de riego (H<sub>n</sub>) según ecuación general para balance hídrico:  $H_n = ET_c - P_a$  (precipitación aprovechable) y lámina bruta:  $H_b = H_n / \text{Eficiencia}$  (85% aspersión - 95% localizado). En cuanto al tipo de agua a utilizar, se recomienda la reutilización de aguas de lluvia, en combinación con aguas residuales tratadas (incluir nutrientes), para disminuir costos de explotación, integración con los sistemas de drenaje, garantizando sostenibilidad en el manejo y uso del agua para riego.

### Marco de riego racional, diseño hidráulico novedoso. Sectores de riego

En áreas uniformes de césped, aplicar riego por aspersión; arbustos, macetas y árboles, riego localizado; microdifusores en estaca para tapizantes y macizos de flores. Las mangueras soterradas, en amplias zonas de jardín, para disminuir costos

garden areas to reduce costs and water consumption. In coastal ecosystems, drip irrigation or bubblers is not the best option, due to the environmental salinity and saltiness of capillary water.

Pressurized water distribution, stationary irrigation, automated sectors, always have quick couplers for hoses are proposed to cover all the garden areas. The range radius of sprinklers, spray or micro-spray, will depend on the winding road and architectural extensions of the garden. It is recommended to use spray nozzles with a radius of 1.5 to 5.2 m for small areas. For large gardens, it is proposed to use spray or rotating sprinklers with radius of 8 to 14 m, and up to 18 m of radius in big parks. Drip irrigation sectors (exposed or underground), increase water efficiency, therefore its use is favorable, if the recommended criteria are fulfilled.

The sprinkler spacing patterns advised are triangular or square, and the expressions proposed for determining the spacing between lateral and sprinklers are:

Triangular sprinkler spacing pattern:

$$Ea = 0.50 \cdot A \quad (1)$$

$$E_L = Ea \cdot 0.87 \quad (2)$$

Where,  $Ea$ : sprinkler spacing (m),  $A$ : nominal range diameter of the sprinkler (m), and  $E_L$ : lateral spacing.

Square sprinkler spacing pattern:

$$Ea = E_L = 0.5 \cdot A \quad (3)$$

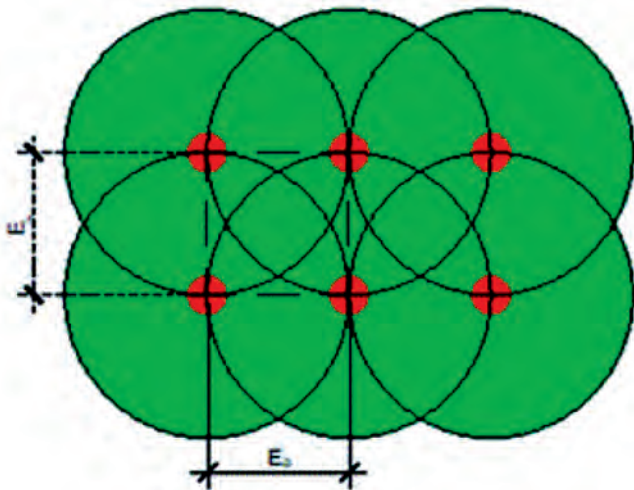


FIGURE 1. Square sprinkler spacing.  
FIGURA 1. Disposición cuadrada.

Other recommendations are not to irrigate with winds over 25 km/h and extend sprinkler spacing up to 85%  $A$ , if necessary. In addition, it is indicated always to use square sprinkler spacing pattern to minimize the effect of the wind (Figures 3 and 4), selecting sprinklers and spray with more than 2 or 4 types of nozzles and high uniformity, including reducible radio up to 25% ((Rain, 2018; Torres, 2019).

For the hydraulic lateral sizing and sprinkler circuits, it is proposed to apply the head loss equation of Hazen-Williams, together

y consumos de agua. En ecosistemas costeros, el riego localizado o soterrado, no es la mejor opción, debido a la salinidad ambiental y salobridad del agua capilar.

Distribución de agua a presión, riego estacionario, sectores automatizados; disponer de tomas de riego, para su uso con mangueras, que cubra todas las áreas de jardín. Los radios de alcance de aspersores o difusores, dependerá de las sinuosidades arquitectónicas y extensión del jardín, empleando difusores de 1,5 a 5,2 m de radio para áreas reducidas, en jardines extensos radios de 8 a 14 m y hasta 18 m en grandes parques. Los sectores de riego localizado, aumentan la eficiencia hídrica, por lo que su uso es favorable, si se cumple con los criterios recomendados.

Las disposiciones entre aspersores aconsejadas son triangular o cuadrada, y las expresiones que se proponen para la determinación del espaciamiento entre laterales y aspersores, son las siguientes:

Disposición Triangular (Tresbolillo):

$$Ea = 0.50 \cdot A \quad (1)$$

$$E_L = Ea \cdot 0.87 \quad (2)$$

Donde,  $Ea$ : espaciamiento entre aspersores (m),  $A$ : diámetro de alcance nominal del aspersor (m), y  $E_L$ : espaciamiento entre laterales.

Disposición cuadrada:

$$Ea = E_L = 0.5 \cdot A \quad (3)$$

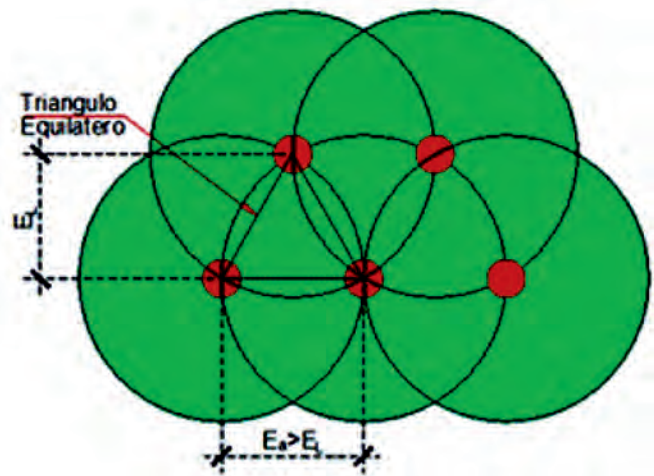


FIGURE 2. Triangular sprinkler spacing.  
FIGURA 2. Disposición triangular.

No regar con vientos superiores a 25 km/h. Extender el marco de riego hasta un 85% de  $A$ , si fuese necesario, siempre con disposición Tresbolillo para minimizar efecto del viento (Figuras 3 - 4), seleccionar aspersores o difusores con más de 2 o 4 tipos de boquillas o toberas, de alta uniformidad, inclusive de radio reducible hasta en un 25% (Rain, 2018; Torres, 2019).

Para el dimensionado hidráulico de laterales, se propone la expresión de pérdidas de carga en tuberías de Hazen - Williams, junto al factor  $F$  típico de Christiansen, que tiene en

with the typical factor F of Christiansen, which takes into account that the flow is not uniformly distributed through the multiple outlets (sprinklers). These expressions are referred in several studies (Sadeghi *et al.*, 2011; Sadeghi y Peters, 2011; Zerihun *et al.*, 2014).

cuenta que el gasto no se distribuye uniformemente debido a las salidas múltiples (aspersores), expresiones asociadas en varias investigaciones (Sadeghi *et al.*, 2011; Sadeghi y Peters, 2011; Zerihun *et al.*, 2014).

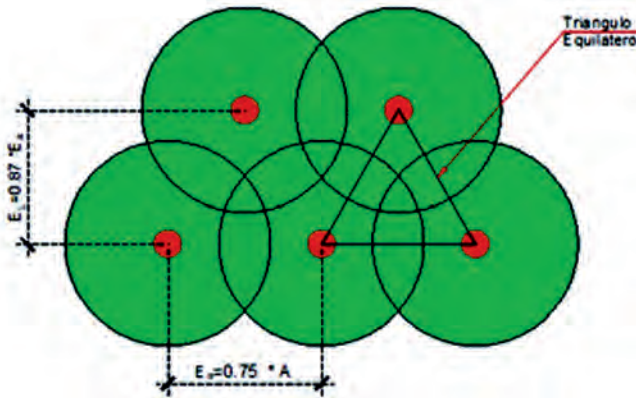


FIGURE 3. Intermediate rational provision.  
FIGURA 3. Disposición racional intermedia.

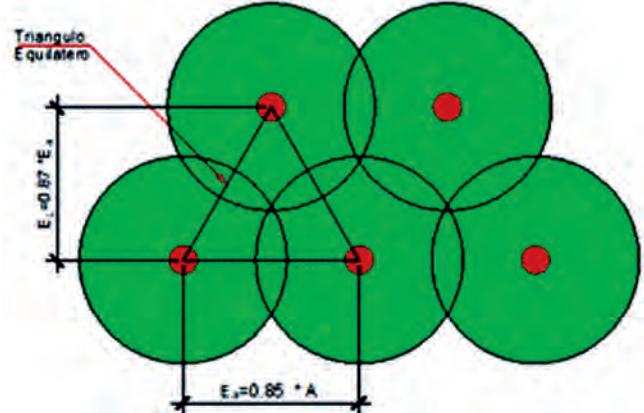


FIGURE 4. Limit rational provision.  
FIGURA 4. Disposición racional límite.

The head loss pressure in lateral or branch ( $h_f$ ) is obtained by the equation:

$$H_f = (F \cdot I \cdot L) \cdot 1.15 \quad (4)$$

Where L is the length of the lateral or branch (m); I head loss per length unit (m / m);  $H_f$  total head loss pressure in the lateral or branch (m); F Christiansen factor (length correction) and (1.15) 15% of local head loss.

$$\Delta Pa \leq 0.20 P_n \cdot Asp. \quad (5)$$

It is recommended that the pressure variation at the inlet of the lateral sprinkler circuit  $\Delta Pa$ , must not be greater than 20% of the nominal working pressure of the sprinkler ( $P_n \cdot Asp$ ), in order to achieve a uniform distribution in lateral. Using tables make the design faster, just like well-founded programs or spreadsheets in Excel

Determine:

$$\Delta P_{real} = \sum H_f \pm \Delta Z \quad (6)$$

Check:

$$\Delta P_{real} \leq \Delta P_{admissible} \quad (7)$$

( $\Delta Z$ ) is topographic difference.

In Table 2, Q represents the total flow in L/sec of the branch or lateral, the design speeds should never exceed 1.0 m/s for  $\varnothing \leq 32$  mm, for  $\varnothing > 32$  mm maximum speed 1.2-1.5 m/s, guaranteeing less head loss pressure and greater uniformity.

Se obtiene la pérdida de carga del lateral o ramal ( $h_f$ ) por la ecuación:

$$H_f = (F \cdot I \cdot L) \cdot 1.15 \quad (4)$$

Donde L es longitud del lateral o ramal (m); I pérdida de carga por unidad de longitud (m/m);  $H_f$  pérdida de carga total en lateral o ramal (m); F factor de Christiansen (corrección de la longitud) y (1,15) el 15% de pérdidas locales.

$$\Delta Pa \leq 0,20 P_n \cdot Asp. \quad (5)$$

La variación de presión a la entrada del circuito porta aspersor  $\Delta Pa$ , no debe ser mayor al 20% de la Presión nominal de trabajo del aspersor ( $P_n \cdot Asp$ ), para que la distribución sea uniforme. El empleo de tablas acelera el diseño, al igual que programas informáticos u hojas de cálculo en Excel.

Determinar:

$$\Delta P_{real} = \sum H_f \pm \Delta Z \quad (6)$$

Comprobar:

$$\Delta P_{real} \leq \Delta P_{admissible} \quad (7)$$

$\Delta Z$  (desnivel topográfico)

En Tabla No 2, Q representa el caudal total en L/s del ramal o lateral, las velocidades de diseño nunca deben exceder de 1.0 m/s para  $\varnothing \leq 32$  mm, para  $\varnothing > 32$  mm velocidad máxima de 1.2–1.5 m/s, garantizándose menor pérdida de carga y mayor uniformidad.

TABLE 2. Quick sizing. H-W  
TABLA 2. Dimensionado rápido. H-W

P.E.A.D. PN-10 atm. H-W, C=150.			
V. m/s	I (m/m)	DN (mm) Øint.	Q (L/s)
1.0	0.096	20 (15.4)	0.19
1.0	0.068	25 (20.4)	0.33
1.0	0.051	32 (26.0)	0.53



P.E.A.D. PN-10 atm. H-W, C=150.			
V. m/s	I (m/m)	DN (mm) Øint.	Q (L/s)
1.2	0.055	40 (32.6)	1.0
1.2	0.042	50 (40.8)	1.57
1.2	0.032	63 (51.4)	2.49
1.5	0.039	75 (61.2)	4.41
1.5	0.031	90 (73.6)	6.38
1.5	0.024	110 (90)	9.54
1.5	0.021	125 (102)	12.3
1.5	0.018	140 (115)	15.5
1.5	0.014	160 (140)	23.1

TABLE 3. Length correction for multiple outlets  
 TABLA 3. Corrección de longitud por salidas múltiples

F of Christiansen, to H-W. I <sub>0</sub> =1.						F of Christiansen, to H-W. I <sub>0</sub> =1/2.					
# out.	F	# out.	F	# out.	F	# out.	F	# out.	F	# out.	F
1	1.000	11	0.397	22	0.374	1	1.000	11	0.369	22	0.359
2	0.639	12	0.394	24	0.372	2	0.518	12	0.367	24	0.359
3	0.535	13	0.391	26	0.370	3	0.441	13	0.366	26	0.358
4	0.486	14	0.387	28	0.369	4	0.412	14	0.365	28	0.357
5	0.457	15	0.384	30	0.368	5	0.397	15	0.364	30	0.357
6	0.435	16	0.382	35	0.366	6	0.387	16	0.363	35	0.356
7	0.425	17	0.380	40	0.364	7	0.381	17	0.362	40	0.355
8	0.415	18	0.379	50	0.361	8	0.377	18	0.361	50	0.354
9	0.409	19	0.377	60	0.359	9	0.374	19	0.361	100	0.353
10	0.402	20	0.376	100	0.356	10	0.371	20	0.360	200	0.352

Select F according to Table 3, when the first branch is at a distance from the beginning of the pipe (l<sub>0</sub>), equal to the equidistance (l) between the branches, that is, l=l<sub>0</sub>, or when (l<sub>0</sub>=l/2).

The ratio of I<sub>0</sub>/I can occur in many variants, even the lateral can have different diameters, so for greater precision use the general equation F of Christiansen, together with the corrective factor G of Anwar's (multiple outlet) or GAVG (multiple outflow) to H-W, according to Sadeghi and Peter. (2011).

The flow (Q) of each irrigation sector corresponds to the ΣQ of the sprinklers in the circuit, spray or drippers (as appropriate), the drip irrigation sectors will have a smaller total flow. The number of sprinklers or spray per circuit must be similar, to guarantee homogeneous flows, equal characteristics for each irrigation sector separately and similar for the entire system (pressures, intensity and flow).

Drip irrigation can increase efficiency above 95%, so water losses are minimal, presenting great advantages, although it requires a high investment, control and maintenance for its proper operation (Martin., et.al). Its use can be online or between lines, exposed or underground, with a wide range of assortments according to manufacturer (Rain Bird., 2018), and the criteria established in the Karmelli-Keller table, which relates, flow rate, separation between emitters or bubbler, and soil type, with humidity percentages.

### Simulated Main Hydraulic Network and Pumping Station

The main hydraulic distribution network, will be made up of a mesh system, the pre-dimensioning of which is carried out by

Seleccionar F según Tabla 3, cuando la primera derivación esté a una distancia del comienzo de la tubería (l<sub>0</sub>), igual a la equidistancia (l) entre las derivaciones, es decir, l=l<sub>0</sub>, o bien cuando (l<sub>0</sub>=l/2). La relación de I<sub>0</sub>/I es diversa, inclusive los laterales pueden presentar múltiples diámetros, por lo que para una mayor precisión emplear la expresión general F de Christiansen, junto al factor correctivo G de Anwar's (caudales de salida continuo) o G<sub>AVG</sub> (caudales de salida múltiple) para H-W, según Sadeghi & Peters (2011).

Los caudales (Q) de cada sector de riego, corresponden a la ΣQ aspersores, microaspersores o goteros (según corresponda), los sectores de riego localizado presentan Q pequeño, La cantidad de aspersores o difusores por sectores de riego deben ser similares, para garantizar Q homogéneos, las características de los mismos iguales para cada sector por separado y similares para todo el sistema (presiones, Intensidad y caudal).

El riego localizado aumenta la eficiencia (≥ 95%), pérdidas de agua mínimas, presentando grandes ventajas, pero necesita una elevada inversión, control y mantenimiento para su adecuado funcionamiento (Martin, 2018). Su instalación puede ser en línea o entre líneas, expuesto o soterrado, con amplia gama de surtidos según fabricante Rain (2018), para su selección aplicar criterios establecidos en tabla de Karmelli-Keller, que relaciona, caudales, separación entre emisores y tipo de suelo, con porcentajes de humedad.

### Red hidráulica principal simulada y estación de bombeo

La red principal de distribución, estará compuesta por sistema de mallas, el pre-dimensionado se realiza, mediante su

transforming it into an equivalent branch network. Being able to divide the  $Q_m/2$ , where  $Q_m$  represents the maximum flow rate of the most unfavorable irrigation sector (sprinklers circuit); starting from the maximum admissible velocity in the pipeline (1.2 to 1.5 m/s), the minimum internal diameter of the sections is obtained. Initially, it should be considered that: each sector is watered from a single knout of the mesh, that the flow rate is continuous, and that the pre-sizing of the network is carried out when the maximum flow circulates in only one direction of the sections (Figure 5).

transformación en una red ramificada equivalente. Pudiéndose dividir el  $Q_m/2$ , ( $Q_m$ ) caudal máximo del sector de riego más desfavorable; partiendo de la velocidad máxima admisible en la tubería (1,2 a 1,5 m/s), se obtiene el diámetro interior mínimo de los tramos. Se debe considerar inicialmente que: cada sector se riega desde un único nudo de la malla, que el gasto de entrega sea continuo, y que el pre-dimensionado de la red se realice cuando circula el caudal máximo en solo un sentido de los tramos (Figura 5).

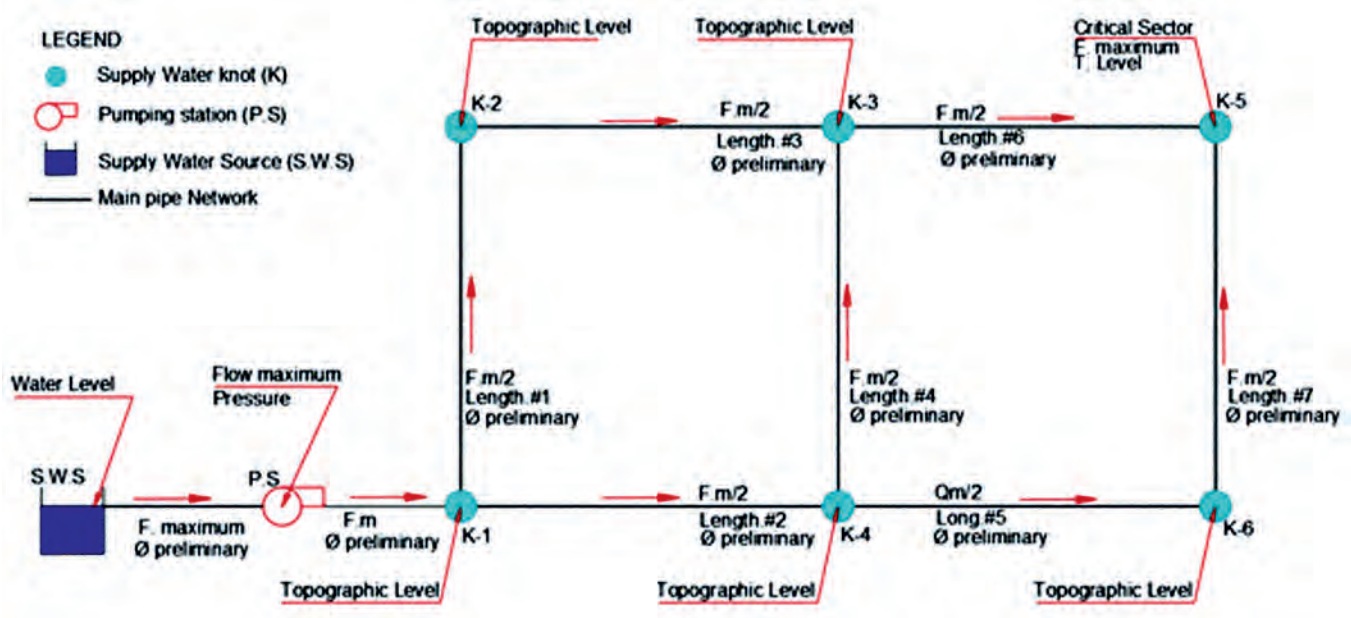


FIGURE 5. Pre-dimensioning of the Main network.  
FIGURA 5. Predimensionado de la red Principal.

Once the layout has been made in plan, the lengths and topographical dimensions have been defined, the network is modelled in EPANET, and can be combined with EpaCAD (Palomino & Quintana, 2017) to facilitate the transport of data, defining the pressure requirement at the knout, definitive diameters, head losses, and pipe speeds from branch by branch, for extraordinary case. The pressures at the inlet of each sprinkler circuit (irrigation sector) are defined by specific simulated model (Fernandes *et al.*, 2012). The total flow to discharge by the hydro pressure system will be the corresponding to the critical or most unfavorable sector, as well as the total hydraulic pressure, including a coefficient of local head losses of 1.15. The pumping booster set system must have a minimum of two to three pumps couple in parallel, including one of reserve, pressure switch or variable speed driver (preferably).

### Supply Sources, Water Reservoir, Automatic System and Irrigation Control

Rainwater collect and reuse of treated water are sustainability premises to define supply sources (Díaz, 2018; Torres, 2019). The water collection for irrigation should be independent from that for potable water, with the construction of two separate cisterns, with a minimum recommended capacity of 1 day of reserve, maximum two each. One reservoir to storage rainwater and other to storage the treated or reuse water. A cen-

Realizado el trazado, definidas las longitudes, cotas topográficas, se procede a modelar la red en EPANET, pudiéndose combinar con EpaCAD Palomino & Quintana (2017), para facilitar la transportación de datos, definiendo las presiones en los nudos, diámetros definitivos, pérdidas y velocidades de tramo a tramo, para caso extraordinario. Las presiones a la entrada de cada sector de riego, se define en corridas específicas (Fernandes *et al.*, 2012). El caudal total a impulsar por el sistema hidroneumático, será el correspondiente al sector crítico, al igual que la carga hidráulica total, incluyendo un coeficiente de pérdidas locales de 1,15. El sistema de bombeo debe presentar mínimo de dos a tres bombas en paralelo, incluyendo una de reserva, presostato o variador de velocidad (preferentemente).

### Fuentes de abasto, almacenamiento, automatización y control del riego

Captación de aguas de lluvia y reuso de agua tratada, premisa de sostenibilidad para definir fuentes de abasto (Díaz, 2018; Torres, 2019). Almacenamiento independiente al de agua potable, con dos vasos por separados, con capacidad mínima recomendada de 1 día de reserva, máximo dos cada uno, un reservorio almacenar aguas de lluvia y en otra agua tratada. Control y gestión del sistema de riego central o autómatas desde el cual, se activan

tral controller from which all sprinklers circuits and automatic solenoid valves are activated carries out control management of the irrigation system. The automat should be located in a garden area preferably (there are multiple options), with a direct on / off connection to the hydro pressure system. Incorporate sensors of soil moisture, solar sync, rain and evapotranspiration meters to perform daily water balance through software, even a computerized system may be the option if resources are available.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Irrigation Requirements and Reservoir Volumes. Coco Caribe Hotel, Cayo Cruz, Camagüey, Cuba. 528 Rooms

The resulting water balance for the month with the highest deficit (April) shows an irrigation requirement of 5.10 mm/day. Taking into account 85% efficiency in the sprinkler irrigation system, a real water requirement of 6 mm/day should be applied, in an area of 1.80 ha, which represents a maximum daily consumption of 108 m<sup>3</sup>/day. A concrete cistern for the reservoir of rainwater will be built, with an automatic overflow to the reuse water cistern, each with a 1 day reserve capacity (Volume=108 m<sup>3</sup>).

todos los sectores de riego y válvulas automáticas solenoides. El autómatas debe estar ubicado en local de jardinería preferentemente (existen múltiples opciones), con conexión directa on/off al sistema hidroneumático. Incorporar sensores de humedad del suelo, medidor de lluvia, sincronización solar con medidores de la evapotranspiración, para a través de software realizar balance hídrico diario, inclusive un sistema computarizado puede ser la opción si se disponen de los recursos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Requerimientos de riego y volúmenes de almacenamiento. Hotel Coco Caribe, Cayo Cruz, Camagüey, Cuba. 528 habitaciones

El balance hídrico para mes de mayor déficit (abril), aflora una lámina de riego neta de 5,10 mm/día, teniendo en cuenta un 85% de eficiencia en el sistema de riego por aspersión, se debe aplicar una lámina de riego bruta de 6 mm/día, en un área de 1,80 ha, lo cual representan un consumo máximo diario de 108 m<sup>3</sup>/día. Se ejecutará un vaso de hormigón para el almacenamiento de aguas de lluvia, con rebosadero automático hacia el vaso de agua de reuso, con capacidad cada uno de 1 día de reserva (Volumen=108 m<sup>3</sup>).

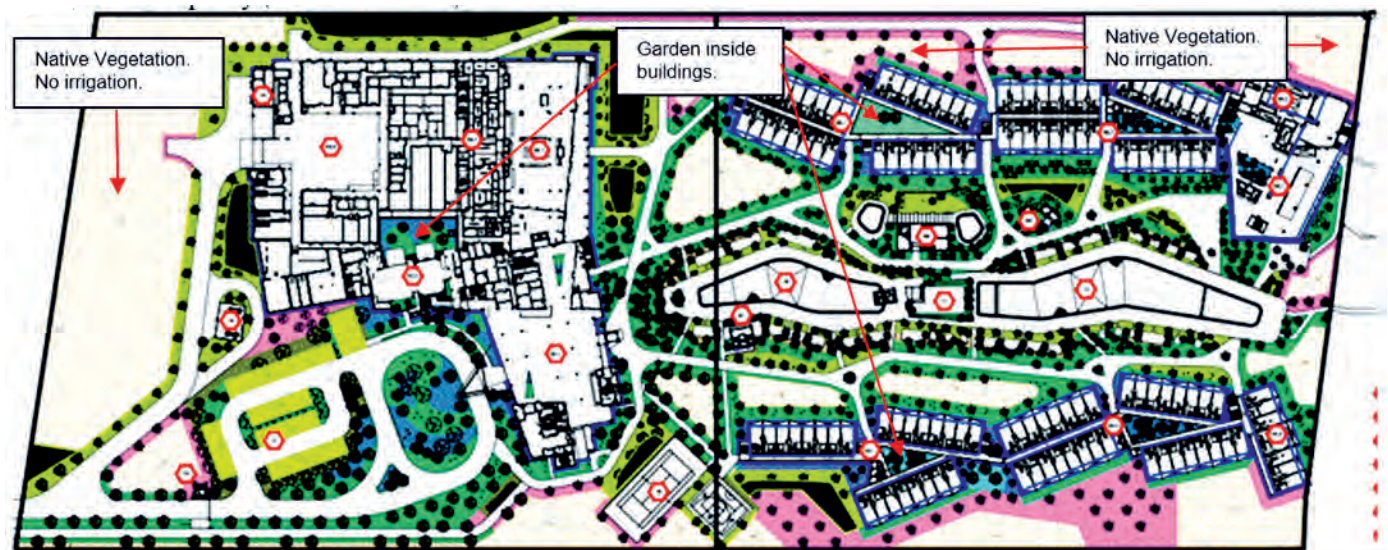


FIGURE 6. General plan of green areas. Coco Caribe Hotel.  
FIGURA 6. Planta General de áreas Verdes. Hotel Coco Caribe.

### Selection of the Irrigation System, Sprinklers Circuits and Lateral Layout. Coco Caribe Hotel

The design and execution, opt for the Breeam certification, which accredits the Hotel with criteria of environmental sustainability, the use of water with reuse alternatives (rain and treatment water) provide credits. The total area built covered is 7.19 ha, which is located in a fragile coastal zone, with ground water levels up to 0.60 m above mid sea level. It has been decided to carry out sprinkler irrigation to garden area of 1.80 ha, which represents 25% of the total built, with coverage for irrigation with quick couplers and hoses. Areas of preserved native vegetation will not be watered.

### Selección del sistema de riego, Aspersores y marco de riego. Hotel Coco Caribe

El diseño y ejecución, optan por la certificación Breeam, con criterios de sostenibilidad ambiental, el uso del agua con alternativas de reuso (pluvial y residuales) aportan créditos. Área total que cubre la obra 7,19 ha, zona costera, frágil, niveles del manto freático de hasta 0,60 m sobre el NMM. Se ha decidido efectuar un riego por aspersión a un área de (1,80 ha) que representan un 25% del total, con cobertura para el riego con tomas y mangueras. A las áreas de vegetación autóctona conservadas, no se les aplicará riego.



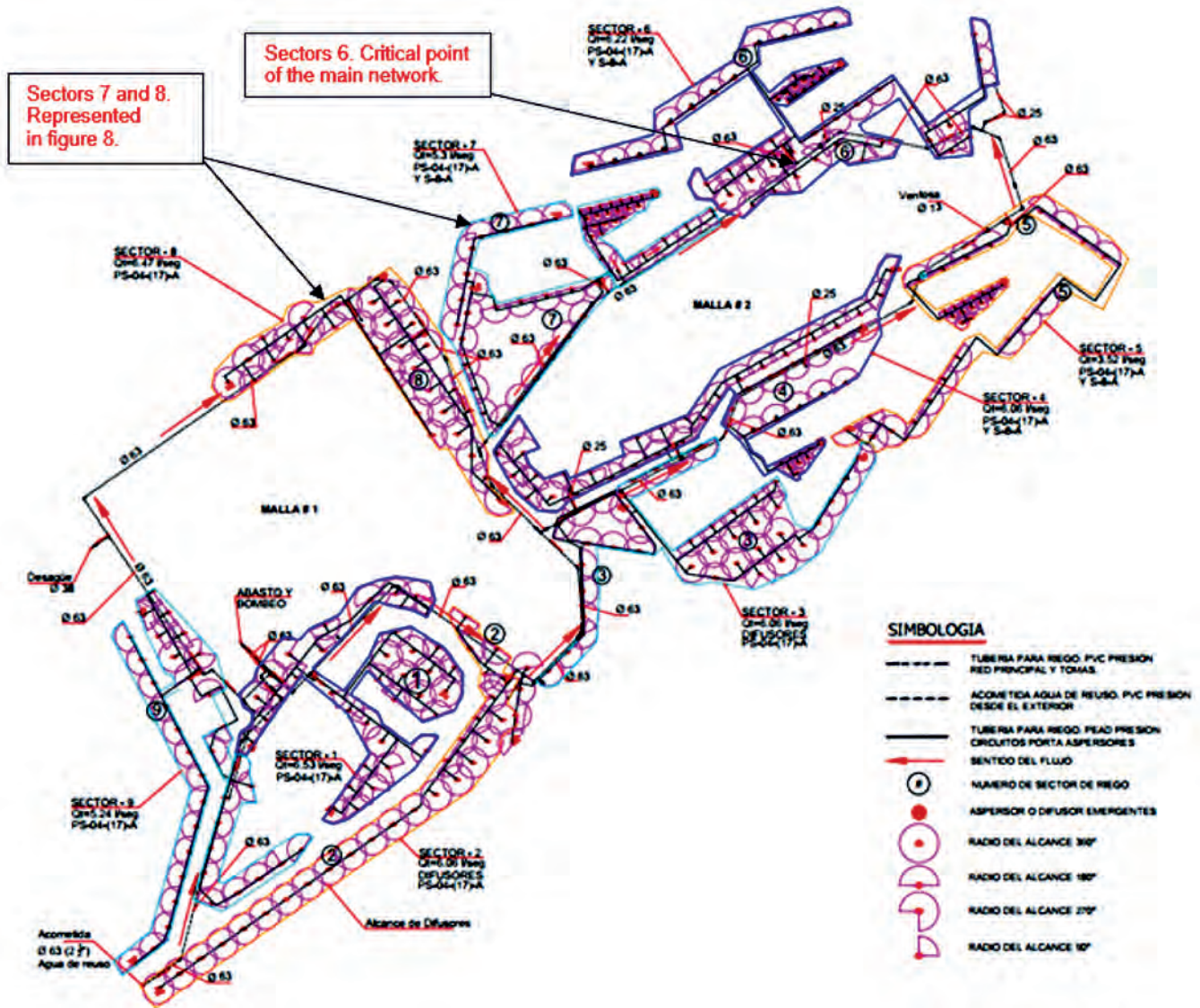


FIGURE 7. Main and secondary irrigation network (Sprinkler Circuit).  
FIGURA 7. Red Principal y secundaria para riego (Circuito Porta Aspersores).

It is analyzed (Figure 6), together with topography, roadways, drainage, and multi networks, to select pop-up spray sprinklers Hunter, with radius of 5.2 m, working pressure of 1.7 kg/cm<sup>2</sup> and flow of 0.98 m<sup>3</sup>/h, adjustable between 0°-360°. In small internal building garden it is proposed to use pop-up spray sprinklers, with radius of 2.1 m, working pressure of 1.4 kg/cm<sup>2</sup>, flow of 0.25 m<sup>3</sup>/h, retracted height to 0.6–1.0 m, depending on the height of the flowerbed. Quick couplers of bronze for the use with hoses are included, covering all the irrigation areas (1.80 ha), in vulnerable points (swimming pools), the quick couplers are connected to the drinking water network. For triangular sprinkler spacing pattern, the expression (1) is applied, adjusted for a spacing between sprinklers of 0.85 of scope, then (2) is applied for the distance between laterals.

The spray sprinklers must be located, in such a way that the appropriate branch and lateral structure can be maintained, according to the defined triangular sprinkler spacing pattern,

Se analiza (Figura 6), junto a topografía, viales, drenaje, y poliredes, para seleccionar difusores auto emergentes Hunter (2018), radios de alcance de 5,2 m, presión de trabajo 1,7 kg/cm<sup>2</sup> y caudal 0,98 m<sup>3</sup>/h, ajustables entre 0°– 60°. En áreas de jardín interiores muy reducidos, se dispone de difusores, radio 2.1 m, presión de trabajo de 1,4 kg/cm<sup>2</sup>, caudal 0,25 m<sup>3</sup>/h, elevados a 0,6–1,0 m, según altura de macizo de flores. Se incluyen tomas de bronce para uso con mangueras, cubriendo todas las áreas de riego (1,80 ha), en puntos vulnerables (piscinas), las tomas se conectan a la red de agua potable. Marco de riego triangular (tres bolillos), se aplican las expresiones, (1), ajustadas para un espaciamento entre aspersores del 0,85 del alcance, luego la distancia entre laterales según (2).

Los aspersores deben ubicarse, de forma tal que se pueda mantener la estructura de ramales y laterales apropiada, según marco de riego definido (Triangular), luego se procede a realizar el trazado de tuberías dentro del circuito porta aspersores, según



and then the pipeline layout is carried out within the sprinkler circuit, as shown in Figure 7. In this way, it is possible the sizing usage of the sprinkler circuits, applying the expressions (4), (5), Tables 2 and 3, together with Excel spreadsheets, software, or complete tables that meet the established speed criteria. The results are represented in Figure 8.

When applying Table 2 of rapid sizing with the established speeds, the criterion of  $\Delta P_a \leq 0.20$  Pn. Asp. (5) is always met. To calculate (6) and check (7), to demonstrate that the pressure delivery to the sprinklers is uniform, guaranteeing efficiency and rationality in the system. Using small low flow spray or sprinklers is favorable, since costs decrease, the insertion of new technologies is essential. The technical data tables of manufacturers Hunter and Rain Bird should always be consulted, because the use of sprinklers or spray with range nozzle is a real option, as it is dual-jet sprinklers, and adjustable radio nozzle (Hunter, 2018; Rain, 2018).

se expone en Figura 7, de esta manera es posible dimensionar los circuitos porta aspersores, aplicando la expresión (4), (5), tablas 2 y 3, junto a hojas de cálculo en Excel, software, o tablas completas que cumplan con los criterios de velocidades establecidos, los resultados se representan en Figura 8.

Al aplicar Tabla 2 de dimensionado rápido, siempre se cumple con el criterio de  $\Delta P_a \leq 0,20$  Pn. Asp. (5), calcular (6) y comprobar (7), demostrando que la entrega de presiones a los aspersores es uniforme, garantizando eficiencia y ectores de riego 7 y 8. Racionalidad. Emplear difusores o aspersores pequeños de bajo caudal es favorable, pues los costos disminuyen, la inserción de nuevas tecnologías es fundamental, siempre debe consultarse las tablas de datos técnicos de fabricantes, Hunter y Rain Bird, pues el uso de aspersores o difusores con gama de boquillas es una opción real, como lo es aspersores de doble chorro, y difusores con radio regulables (Hunter, 2018; Rain, 2018).

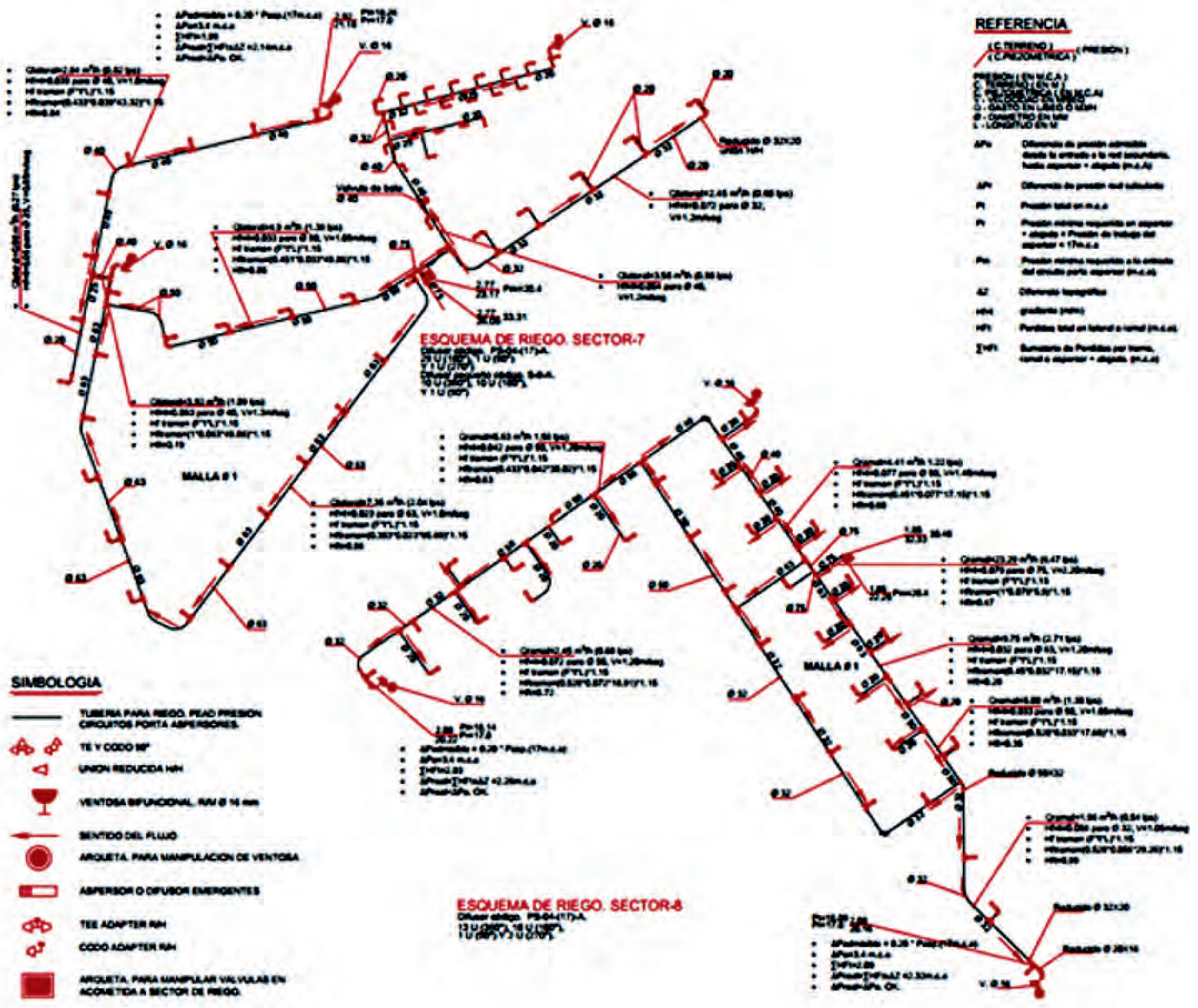


FIGURE 8. Hydraulic schemes. Sprinkler circuit. Irrigation sectors 7 and 8.  
 FIGURA 8. Esquemas Hidráulicos. Circuito porta aspersores. Sectores de riego 7 y 8.

### Main Network of Irrigation Supply Water System. Coco Caribe Hotel

The critical sector flow is 6.22 L/s, the maximum pressure required is 27.5 m.c.a. The simulation in EPANET model, demonstrates that it is feasible to build a system with a meshed main network with a uniform diameter of DN 2 1/2 “in the ASTM standard,  $\varnothing_{int}$  66.92 mm, PVC, PN-11, SDR-26. The main pipe outlet from the hydro pressure equipment has DN 3”,  $\varnothing_{int}$  81.54 mm, PN-11. The meshed network is recommended to favor pressure, head losses, energy consumption, and maintenance and repair work, drawn up next to the multi network excavation.

### Red Principal de suministro de agua para riego. Hotel Coco Caribe

Caudal en sector crítico de 6,22 L/s, presión máxima requerida 27,5 m.c.a. Las corridas en EPANET, demuestran lo factible de ejecutar un sistema con red principal mallada con diámetro uniforme de DN 2 1/2” en norma ASTM,  $\varnothing_{int}$  66,92 mm, PVC, PN-11, SDR-26. Ramal principal desde equipo hidroneumático de DN 3”,  $\varnothing_{int}$  81,54 mm, PN-11. Red mallada, para favorecer presiones, pérdidas, consumo energético, mantenimiento y reparación, trazado junto a zanja de poliredes.

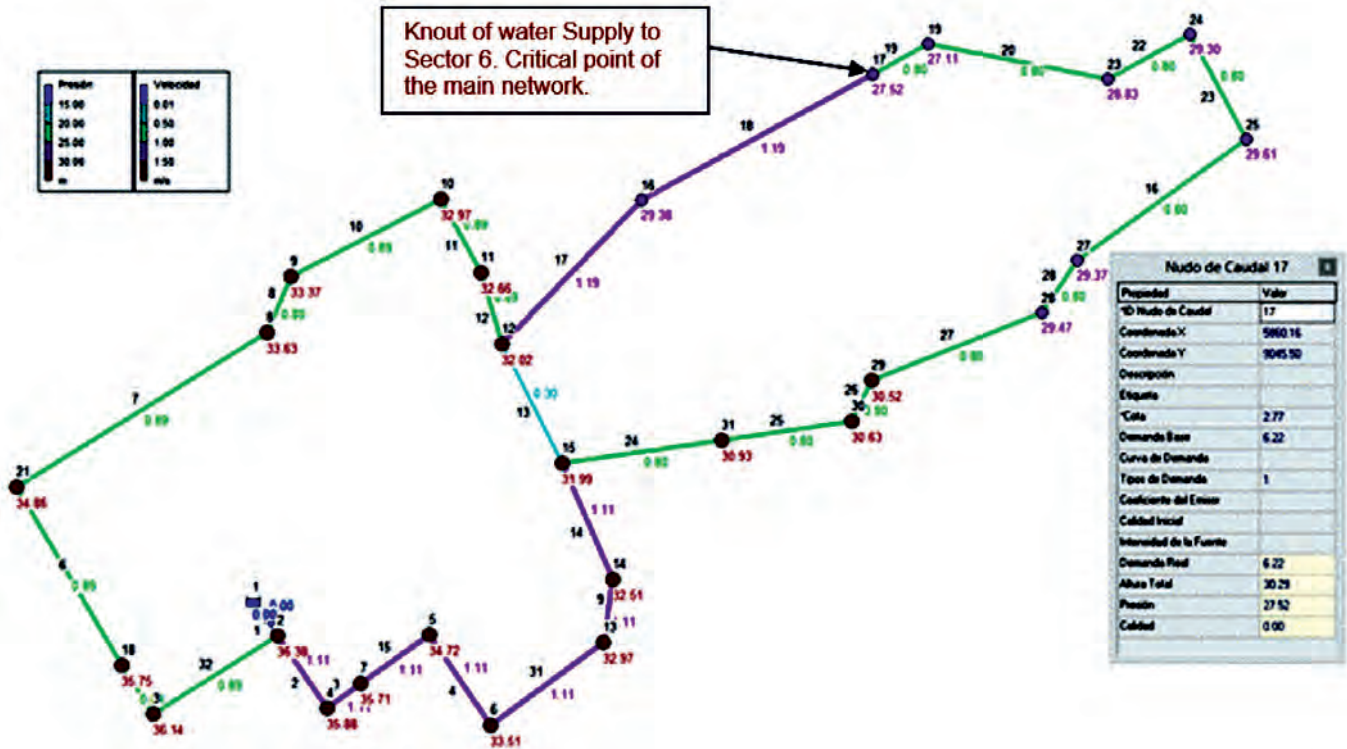


FIGURE 9. Model in EPANET. Sector No 6. Critical point. Main network.  
 FIGURA 9. Corrida en EPANET. Sector No 6. Punto crítico. Red principal.

### Pumping Station and Automatic Control. Coco Caribe Hotel

The maximum flow to circulate will be 6.53 L/s, together with an estimated total hydraulic load of 35 m.c.a., The result of simulated in EPANET model allows specifying the power of the pumps to be installed. It is recommended 2 in parallel+1 reserve (Pot=6.6 kW total, working 4.4 kW).

The hydro pressure system will present on/off drive from the automatic irrigation controller. The operation point of the system has been determined, along with characteristic curve, during multiple simulation, for all irrigation sectors (sprinklers circuits). The proposed automatic irrigation control system guarantees simultaneous program operation, connection with sensors, location in external /internal built areas, support on the wall or on a pedestal, manual start and advance by keys, among other advantages. Model ACC-1200-SS with capacity of up to 12 irrigation sectors.

### Equipo de bombeo, y control automático. Hotel Coco Caribe

Caudal máximo a circular de 6,53 L/s, carga hidráulica total 35 m.c.a, resultado de corridas en EPANET, permite precisar la potencia de las bombas a instalar. Recomendando 2 en paralelo + 1 de reserva (Pot=6,6 kW total, trabajando 4,4 kW).

El hidroneumático acciona on/off desde controlador automático de riego. Se ha determinado el punto de operación del sistema, junto a curva característica, durante las múltiples corridas, para todos los sectores de riego. El Sistema de control automático propuesto, garantiza funcionamiento simultáneo de programas, conexión con sensores, ubicación en el exterior/ interior, soporte a pared o sobre pedestal, arranque y avance manual por teclas, entre otras ventajas, Modelo ACC-1200-SS, capacidad de hasta 12 sectores de riego.



### Valuation of Resources, Rationality of the System and Efficiency

It is recommended to quantify initially the available resources for the investment, to make a rational adaptation and viable design, sustainable project that also adapts to local climate conditions. The results presented below demonstrate significant savings in import costs, reducing the resources to use by 55%, covering 100% of the planned irrigation garden area.

Table 4 shows a saving for pipes, accessories, spray sprinklers, quick couplers, and hydro pressure system of \$ 15,335, for a rational (efficient, novel) garden irrigation system.

### Valoración de recursos, Racionalidad del sistema y Eficiencia.

Cuantificar los recursos disponibles, para efectuar una adaptación racional y diseñar un proyecto viable, sostenible, ajustado a las condiciones climáticas locales. Los resultados que se exponen a continuación, demuestran ahorros significativos en los costos de importación, disminuyendo en un 55% los recursos a emplear, cubriendo el 100% del área de riego prevista.

En Tabla 4, se observa un ahorro en tuberías, accesorio, difusores, tomas, y equipo de bombeo de 15 335 USD, para un sistema de riego de jardín racional (eficiente, novedoso).

**TABLE 4. Valuation of resources, Efficiency and Rationality**  
**TABLA 4. Valoración de recursos, Eficiencia y Racionalidad**

Elements considered	UN	Rational Design	Traditional Design	Unemployed resources
Sprinklers Circuits	USD	7300	13505	6205
Main Network	USD	7800	14430	6630
Hydro pressure Syst.	USD	14400	16900	2500
Energy consumption	kW/h	4.4	8	3.6
Total	USD	29500	44835	15335

Power consumption is lower, saving 3.6 kw/h daily, for an expected 4 hour run time of 14.5 kW/day·300 days=4350 kW/year. If it is considered that 0.25 L of oil in Cuba is equivalent to 1 kW/h of generation, 1090 L of oil would be saved every 1.8 ha of garden irrigation (460 USD/year).

El consumo de energía es menor, ahorrando diariamente 3,6 kW/h. En un tiempo de riego de 4 horas previsto 14,5 kW/día·300 días=4350 kW/año. Si se tienen en cuenta que en Cuba 0,25 L de petróleo equivale a 1 kW/h de generación, se estarían ahorrando 1090 litros de petróleo por cada 1,8 ha de riego de jardín (460 USD/año).

### CONCLUSIONS

- Criteria, expressions, diagrams, summary tables have been provided, which guarantee a hydraulic design for an irrigation system for gardens, that is rational, new and of high efficiency.
- The established criteria have been applied to tourist centers in cays in northern of Cuba, presenting the results obtained at Hotel Coco Caribe, Cayo Cruz, with 1.80 ha of garden irrigation.
- Environmental sustainability criteria, alternative sources for water reuse and water efficiency are introduced.

### CONCLUSIONES

- Se proporcionan criterios, expresiones, esquemas, tablas resumidas, que garantizan un diseño hidráulico de sistemas de riego para jardines, racional, novedoso, y de alta eficiencia.
- Los criterios establecidos han sido aplicados a instalaciones turísticas en cayos al norte de Cuba, presentando los resultados obtenidos en Hotel Coco Caribe, Cayo Cruz, con 1,80 ha de riego de jardines.
- Se introducen aspectos de sostenibilidad ambiental, fuentes alternativas para reuso del agua y eficiencia hídrica.

### REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DA SILVA, G.M.: “Estimativa da evapotranspiração de referência padrão (Penman-Monteith FAO 56): Uma abordagem com dados meteorológicos limitados”, *Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 4(4): 253-260, 2016, ISSN: 2318-767.

DÍAZ, D.A.J.: “El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad”, *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(2): 46-59, 2018, ISSN: 1815-591X.

FERNANDES, S.F.L.; PINTO, A.; SILVA, R.; MOURA, J.P.: “Modelling High Pressure flow and replacement of pipes in water supply systems in north Portugal”, *Journal Iran. J. Sci. Tech, Transactions of Civil Engineering*, 36(C1): 53-65, 2012, ISSN: 1815-591X.

HUNTER, R.G.: “Catálogo de Productos Residencial, Institucional y Golf”, *Built on Innovation*, ser. Spanish RC 001, 37(10): 234, 2018.

LAMOTE, M.A.: *Metodología para el diseño, construcción, y mantenimiento de sistemas de riego para jardinerías*, Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Tesis de Maestría en Ciencia del Riego y Drenaje, Ciego de Ávila, Cuba, 72 p., 2002.

MARTIN, A.: *Manual de Riego de Jardines*, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, Andalucía, España, 262 p., 2018.

PACHECO, J.; PACHECO, E.; VELIZ, L.: “Determinación de la lluvia aprovechable en los proyectos de regadío para campos de golf”, En: *Sexta conferencia científica Internacional UNICA*, Ed. UNICA, Ciego de Ávila, Cuba, p. 12, 2004.

PALOMINO, C.A.; QUINTANA, D.: *Diseño del sistema de Riego por aspersión para el campus de la Universidad Cesar Vallejo en la sede*



Lima Norte, Inst. Universidad Nacional Agraria La Molina, Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental, Lima, Perú, 160 p., 2017.

PINO, P.Y.; MUJICA, C.A.: "Diseño Hidráulico de sistemas de riego para campos de golf", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 28(1): 41-46, 2007, ISSN: 1815-591X.

RAIN, B.: *El Riego automático de espacios verdes, The Intelligent Use of Water*, Catálogo General 09 (17), 2018.

SADEGHI, S.H.; MOUSAVI, S.F.; GHEYSAARI, M.; SADEGHI, S.H.R.: "Evaluation of the Christiansen method for calculation of Friction Head Loss in horizontal sprinkler laterals: Effect of variable outflow in outlets", *Journal Iran. J. Sci. Tech, Transactions of Civil Engineering*, 35(2): 233-245, 2011, ISSN: 2228-6160.

SADEGHI, S.H.; PETERS, T.: "Modified G and GAVG Correction Factors for Laterals with Multiple Outlets and Outflow", *Journal of Irrigation and Drainage, Engineering, ASCE*, 137(11): 697-704, 2011, ISSN: 1943-4774.

SOLANO, O.J.; VÁZQUEZ, M.J.; MENÉNDEZ, G.A.; MENÉNDEZ, G.J.: "Estudio de la evapotranspiración de referencia en Cuba", *Revista Cubana de Meteorología*, 10(1): 33-38, 2003, ISSN: 2664-0880.

TORRES, H.R.: "La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente", *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2): 125-139, 2019, ISSN: 1815-591X.

ZERIHUN, D.; SÁNCHEZ, C.A.; NOLTE, K.: "Field-Scale Sprinkler Irrigation System Hydraulic Model. I: Hydraulic Characterization", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 140(3): 1-14, 2014, ISSN: 0733-9437.

---

Yemir Pino Puebla, Especialista Principal de Hidráulica y Sanitaria. Empresa de Ingeniería y Arquitectura # 11 (EPIA-11), avenida Finlay #374, CP: 70100, Camagüey, Cuba, e-mail: [yemir@epiaonce.cu](mailto:yemir@epiaonce.cu)

Albi Mujica Cervantes, Profesor Titular. Centro de Estudios Hidrotécnicos (CEH), Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Facultad de Ingeniería. Carretera a Morón km 9½, CP: 69450, Ciego de Ávila, Cuba. e-mail: [albi@unica.cu](mailto:albi@unica.cu)

Mayra Emeria González Díaz, Profesora Titular, Consultora FAO. Cuba. E-mail: [mgdcamaguey@gmail.com](mailto:mgdcamaguey@gmail.com)

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.

## **FACILIDADES PARA PUBLICAR CONTRIBUCIONES EN REVISTAS CIENTÍFICAS**

Si desean que su trabajo se publique en las revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias (RCTA), Ingeniería Agrícola (IA) o Gestión del Conocimiento y desarrollo local , deben revisar en el sitio WEB [www.unah.edu.cu](http://www.unah.edu.cu) las normas editoriales y contactar con los directores de las publicaciones.

CJAS: [www.cjascience.com](http://www.cjascience.com), Directora Editorial: Dra. Sandra Lok Mejías [slok@ica.co.cu](mailto:slok@ica.co.cu)

Pastos y Forrajes: <https://payfo.ihatuey.cu> / <http://www.ihatuey.cu>, Editor Jefe: Dr. Osmel Alonso Amaro [osmel@ihatuey.cu](mailto:osmel@ihatuey.cu)

Si desea publicar en revista técnico popular contactar con: Casa Editorial ACPA. Director. Jorge Luis Álvarez Calvo, [revista@acpa.cu](mailto:revista@acpa.cu)