

El diámetro económico y su uso óptimo para un sistema de riego por aspersión

The economic diameter and its last use for an aspersion irrigation system

Marlon Víctor Hugo Pazos Roldan¹ (mpazos@utb.edu.ec) <http://orcid.org/0000-0001-6798-8736>

Xavier Alberto Gutiérrez Mora² (xgutierrez@utb.edu.ec) <https://orcid.org/0000-0002-8954-7402>

Orlando Segundo Díaz Romero³ (odiaz@utb.edu.ec) <https://orcid.org/0000-0002-1469-642X>

Resumen

Este artículo describe la metodología de optimización a través de una serie de cálculos simples, que se pueden aplicar para todas las situaciones posibles. Nuestro objetivo es proporcionar las herramientas básicas para que los futuros profesionales de la agronomía tengan con respecto al diseño de sistemas de riego por pulverización. Es uno de los métodos de riego que se utilizaron durante milenios fue la aplicación de agua a las plantas con una ducha manual. Claramente, esto sólo se podía aplicar a pequeña escala, por lo que prevaleció el riego de surcos. El riego por aspersión comenzó hace tres siglos cuando la bomba hidráulica accionada por vapor fue inventada y luego por motores eléctricos. En este sentido, actualmente es el método más extendido

Palabras clave: Diámetro económico; Sistemas de riego.

Abstract

This article describes the optimization methodology through a series of simple calculations, which can be applied for all possible situations. Our goal is to provide the basic tools for future agronomy professionals to have with respect to the design of spray irrigation systems. It is one of the irrigation methods that were used for millennia was the application of water to plants with a manual shower. Clearly, this could only be applied on a small scale, so furrow irrigation prevailed. Spray irrigation began three centuries ago when the steam-powered hydraulic pump was invented and then by electric motors. In that sense, nowadays it is the most widespread method.

Key words: Economic diameter; Irrigation systems

Los estudios sobre los sistemas de riego revelan que tradicionalmente no se contempla la optimización global de costes en el diseño de los mismos. Esto, obedece a que el método tradicional de diseño hidráulico no persigue obtener la solución más económica, sino que presenta pérdida por fricción más adecuada a ese proyecto de riego. De ahí

¹ Docente de la Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador.

² Docente de la Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador.

³ Docente de la Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador.

que, el determinar el diámetro económico óptimo es fundamental para un eficiente y económico funcionamiento de un sistema de riego presurizado.

Sobre esta base, la aplicación de agua a los cultivos en forma de gotas es un sistema de riego conocido como riego por aspersión. El mismo, es superficial y se produce asperjando el agua en un rociado de pequeñas gotas sobre o entre las plantas, imitando el agua de lluvia.

En este sentido, cuando se tiene que bombear un caudal definido Q , a lo largo de cierta distancia y que éste caudal llegue con determinada presión; es imprescindible la utilización de tubería para lograr tal fin. Por tanto, la selección de su diámetro es un criterio tanto técnico como económico. Al respecto, su selección se realiza sobre la base del criterio de la velocidad de circulación del agua, y pocas veces se le hace en función del costo total durante la vida útil del proyecto o la tubería.

Además, al momento de seleccionar el diámetro de la tubería no solo se debe considerar un criterio técnico (velocidad y pérdida por fricción); sino también debe estar basado en un criterio económico.

En consonancia con ello, el criterio económico que será propuesto está sustentado en el análisis del Costo Total del Ciclo de Vida para una longitud de tubería dada. El mismo, incluye el costo inicial de instalación (costo fijo o de capital), más el costo de operación (bombeo) en el cual se incurre a lo largo de todo el tiempo de trabajo de la tubería.

De manera que, todos los diámetros de tubería tienen un costo de instalación fijo y un costo de operación que crece exponencialmente en la medida en que se aumenta el diámetro. No obstante, los costos operativos del proyecto disminuyen y aumenta conforme a dicho diámetro.

Asimismo, con la ayuda de una hoja de cálculo electrónica y teniendo en cuenta ciertas variables como el tiempo de duración de operación, el costo de la energía, longitud del ciclo de vida, eficiencia del motor y de la bomba y el costo de capital de la tubería, entre otros, se puede hacer un análisis. Para ello, se considera todo el espectro de posibilidades que influyen en la cuantificación del valor del costo total del ciclo de vida y así poder escoger la opción económica más viable para el proyecto.

Consecuentemente, la empresa agrícola es por naturaleza una empresa de producción, y como tal, está destinada a la generación de ingresos y utilidades como resultado de la venta de sus productos. De ahí que, su utilidad se mide como la diferencia entre los ingresos generados en las ventas de sus productos y los egresos demandados en su producción. Al respecto, para tener éxito una empresa agrícola debe reducir al máximo los costos de instalación y operación del sistema de riego, pero sin afectar su producción para lograr así obtener la máxima rentabilidad, según (Agrowin, 2011) y (Mayorga, 2019)

Las ideas anteriores, permiten aseverar la existencia de un problema que se manifiesta en adaptar una técnica de optimización a fin de poder obtener una tubería de conducción con diámetros óptimos (que minimicen los costos de proyecto), pero sin reducir la eficiencia del equipo de bombeo, a fin de optimizar el diseño y minimizar los costos totales de proyecto de riego.

Diámetro óptimo económico

Al respecto, cuando se hace referencia al diámetro óptimo económico se puede definir como aquel que minimiza el costo total anual. Este, consiste en la amortización anual de la inversión y el valor de las pérdidas de energía. El mismo, matemáticamente puede expresarse como: $\frac{dC_1}{d\phi} \leq \frac{dC_2}{d\phi}$

C₁: Costo anual debido a la inversión de diámetro “d”

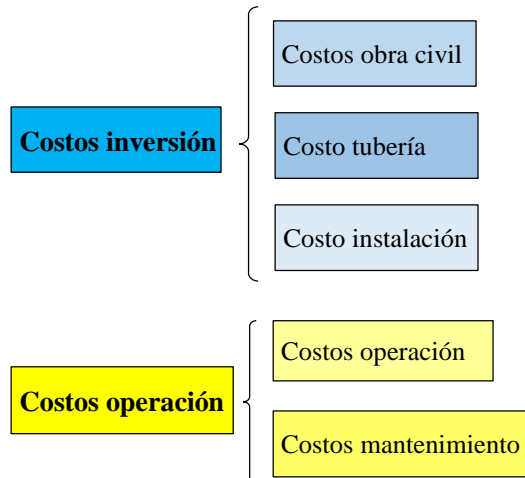
C₂: Costo operativo del sistema de riego al bombear el caudal a través de la tubería de dicho diámetro.

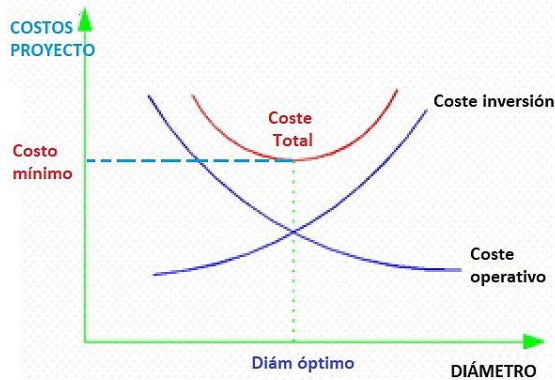
C: totales de inv: C_{fijos inv} + C_{variables invers}

C: Fijos inv :C_{tub.}+C_{Bom.}+C_{Acc Tub.}+C_{inst Bom.}+C_{inst tub.}

C: variables inv : C_{explotación} + C_{Mantenim}

Sobre esta base, es posible decir que es en el diámetro más económico donde la suma de los gastos anuales debidos a la energía consumida más el valor de la anualidad por la inversión efectuada, es mínima.





De manera que, al instalar una tubería de PVC UZ, de 384 m de longitud permite conducir 360 m³/h (100 litros/s). Por tanto, se estima una vida útil de 25 años y el mantenimiento anual en el 2 % de la inversión. Al respecto, el interés es del 12 %, la inflación del costo de la energía es del 7 %; el precio medio del Kw-hora es de 9.68 centavos y el grupo motobomba funciona durante 840 h anuales con una eficiencia de motobomba de 0.7. Lo anterior, posibilita determinar el diámetro económico adecuado.

En este sentido, los diámetros disponibles y sus pérdidas de carga correspondientes son los que se indican a continuación:

Al respecto, se tantea con distintos diámetros de tubería para ver cuál diámetro presenta el menor coste en el proyecto de riego. Para ello, se considera como capital inicial el valor de la tubería y se calculan los costos anuales fijos (amortizables y no amortizables) y variables.

En cuanto, al cálculo del N° de Reynolds, se consideró una viscosidad cinemática de agua igual a $1,007 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Para el cálculo del coeficiente de fricción, se empleó la ecuación de Pavlov:

En consonancia con lo anterior, se siguió la metodología propuesta por Távora (2013)

Análisis de los costos de instalación de la tubería:

Factor de recuperación 0,127499

Diámetro (mm)	160	200	250	315
Precio unitario (tubo de 6 m) 0.63 MPa	80,9	131,25	188,53	302,24
Precio total (64 Tubos)	5177,60	8400,00	12065,92	19343,36
Amortización (Inversión x Fa)	660,14	1070,99	1538,39	2466,56
Mantenimiento anual (2%)	103,55	168,00	241,32	386,87

inversión)

Cálculo del costo de la energía:

$$C = \frac{0,0098 \times Q \times H_T}{Efb \times Efm} \times t \times Ce = \frac{0,0098 \times 100 \times H_T}{0,7} \times 840 \times 0,0968 = 11,38 \text{ H}$$

Cálculo del diámetro económico:

Análisis de la inversión

01	Diámetro Presión Nominal. (mm)	160	200	250	315
02	Diámetro 0,63 Mpa Interno (mm)	152,16	190,20	237,75	299,57
03	Velocidad 100 lt/s (m/s)	5,50	3,52	2,25	1,42
04	Reynolds Rugosidad	836774,82	669419,86	535535,89	425028,48
05	($\epsilon/3,7D$)	0,003	5,33E-06	4,26E-06	3,41E-06
06	Coeficiente de fricción (f).	0,0123	0,0127	0,0131	0,0136
07	Pérdida de carga por impulsión - (mca)	48,02	16,17	5,47	1,78
08	Altura manométrica - DHsist. (m. c. a.)	92,63	60,78	50,08	46,40
09	Rendimiento (n)	0,77	0,77	0,77	0,77
10	Potencia necesaria - Pnec. (HP)	161,45	105,25	86,72	80,34
11	Potencia consumida. (kW)	119,47	77,89	64,17	59,45
12	Consumo 840 horas efectivo de al año energía (kWh)	100354,56	65425,19	53905,59	49941,10

13	Costo de Tubería individual (6 m)	80,9	131,25	188,53	302,24
14	Costo Total 64 Tubos Tubería	5177,60	8400,00	12065,92	19343,36
15	Costo Instalación Tubería de Impulsión	600,00	630,00	665,00	700,00
16	Costo Inversión Inicial	5777,60	9030,00	12730,92	20043,36
17	Anualidad 0,127499	736,64	1151,32	1623,19	2555,53
18	Costo ¢ 9,38 energía consumida	9413,26	6136,88	5056,34	4684,48
19	Costo anual de Mantenimiento de Sistema	234,36	246,08	259,75	273,42
20	Costo Operación del Sistema	9647,62	7534,29	5316,09	4957,90
21.	Costo Anual Total (CAT)	10384,26	7524,29	6939,29	7513,42

Realizando una regresión lineal de los diámetros analizados y costos anuales generados, se obtiene la siguiente ecuación:

$$CAT = 0,3524D^2 - 184,38D + 30703$$

Derivando esta ecuación se obtiene:

$$\frac{dCAT}{dD} = 0,705D - 184,38$$

Resolviendo esta expresión resulta: 261 mm

La tubería de diámetro comercial más económico para este proyecto es de 250 mm.

Conclusiones

El estudio sobre los costos del sistema de riego, permiten advertir que su aplicación es de gran utilidad. En este sentido, brinda un grupo de ventajas que contribuyen al éxito del proceso. Lo anterior, evidencia los logros que en materia de economía produce este sistema al propiciar una optimización en el trabajo. Asimismo, la implementación del sistema de riego evidencia los adelantos que desde la ciencia y la técnica se ponen en función del desarrollo.

Referencias

- Agrowin. *Manual. Costos de producción*. Manizales: InSoft Ltda, 2011.
- Anaya, A. Cauich, G. Funabazama, O. y Medrado, V. (2014). Evaluación de ecuaciones explícitas del factor de fricción para tuberías. *Ingeniería Química*, pp. 128 - 134.
- Mayorga Arias, D., Guillen Mora, R., y Díaz Romero, O. (2019). Uso de herbicidas en el control de malezas. importancia de su conocimiento para el profesional agrónomo. *Opuntia Brava*, 11(1), pp. 204-210.
<https://doi.org/https://doi.org/10.35195/ob.v11i1.712>
- Mendoza, F.(2008). Selección del diámetro óptimo de tubería. *Monografias.com*. abril de 2008. <https://www.monografias.com/trabajos57/diametro-optimo-tuberia/diametro-optimo-tuberia.shtml> (último acceso: 23 de agosto de 2019).
- Pérez, J y Merino, M. (2017). *Definición.de*. sistema de riego. <https://definicion.de/costo-de-produccion/> (Consultado 23 de agosto de 2019).
- Távora, R. (2013). *Dimensionamento econômico de adutoras ou linhas de recalque*. Sao Paulo.