

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO COMBINADO POR ASPERSIÓN Y POR GOTEO CON UN ÁREA DE 8 Há EN EL CENTRO POLITÉCNICO DAULE

Xavier Moncayo Calderero¹, Marcelo Espinosa Luna²

¹Ingeniero Mecánico 2004

²Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1977, Masterado Ingeniería Agrícola EEUU, Universidad Missouri-Columbia, 1981. Profesor de ESPOL desde 1977

RESUMEN

El objetivo de esta tesis de grado es realizar el diseño combinado de riego por aspersión y por goteo tomando en cuenta las diversas condiciones y factores específicos como son topografía del suelo, tipo de cultivo y edafología del suelo, para satisfacer las necesidades de producción. Para un diseño correcto se hará el reconocimiento de la tierra (edafología, planimetría y altimetría), el tipo de cultivo que se vaya a sembrar y los requerimientos hídricos.

Una vez considerados estos factores se diseñará la disposición de las tuberías principales, las tuberías secundarias, los aspersores y las cintas de riego. Luego de esto se harán los respectivos cálculos de presión y caudal de la bomba que se necesitará, dada las varias condiciones presentes, como son área a regar, pérdidas por fricción, pérdidas por diferencia de altura, presión mínima necesaria para que funcionen los aspersores, presión mínima necesaria para que funcionen las cintas de riego y un factor de seguridad. Dependiendo del caudal total máximo y de donde se obtiene el agua, se escogerá el tipo y tamaño de los filtros que se necesitarán para que no se tapen las cintas de riego o los tratamientos al agua de riego.

INTRODUCCIÓN

Unos de los sistemas más utilizados actualmente en nuestro país, especialmente en cultivos hortícolas, son los sistemas de riego por aspersión y por goteo. En la presente tesis, se analizarán precisamente cada sistema de riego (aspersión y goteo), así como la combinación de los mismos. Se tomará en consideración todos los parámetros técnicos necesarios para la realización de los cálculos y el diseño del sistema combinado así como también se considerará las situaciones más

desfavorables con el fin de ser más eficientes y que se cubran todas las expectativas, sean estas teóricas ó prácticas.

CONTENIDO

Estudio Topográfico

Para este específico levantamiento topográfico y ejecutando la primera etapa se utilizó un teodolito y con el cual se realizaron siete estaciones y se tomaron sesenta y nueve puntos meticulosamente distribuidos a fin de determinar y establecer las cotas del terreno en su totalidad. Cada punto tomado era determinado de acuerdo a su respectiva estación mediante tres datos, los cuales son: distancia inclinada, que es la distancia desde la estación a cada punto, ángulo horizontal necesario para situar el punto en el plano x y, y ángulo vertical necesario para realizar las curvas de nivel.

Para la segunda etapa o etapa de gabinete se procedieron a hacer los cálculos necesarios para obtener los puntos con sus coordenadas x , y. Primero se procedió a situar las estaciones. Para calcular la coordenada de todos los puntos en el eje z, primero asumimos una altura arbitraria para la primera estación (1) en este caso de 10.00, luego para calcular el desnivel en cada punto de aplica la siguiente fórmula: $d=(di/2) \times \text{sen}(2\phi v)$.

Una vez establecidos las coordenadas (x,y,z) de cada punto y estación, se procede a dibujarlos en un plano cartesiano. Las curvas de nivel se las dibujó de tal forma que se generaran cada 0.20 metros, siendo la mínima de 9.0 metros y la máxima de 10.4 metros, dándonos una diferencia máxima de altura a lo largo de toda la superficie de 1.4 metros.

Requerimientos hídricos de los cultivos

El agua se pierde en principio por el drenaje y luego por evaporación de la superficie del suelo (debido a las temperaturas ambientales), y por la transpiración que realizan las plantas; esta evapotranspiración varía dependiendo de la temperatura, de la luz y del tipo de cultivo, y constituye un dato de gran importancia para el conocimiento de las necesidades hídricas.

Estimación del Coeficiente de Cultivo (Kc)

La relación entre la evapotranspiración de un cultivo determinado y la evapotranspiración de un cultivo de referencia que podría ser pasto (Eto) o Alfalfa (Etp), es conocida bajo el nombre de coeficiente de cultivo (Kc) y los factores que más influyen sobre este son principalmente las

características del cultivo en sí, las fechas tanto de plantación como de siembra, y la duración del período vegetativo, las condiciones climáticas de la zona y la frecuencia de dotación de agua principalmente en la fase inicial debido a la alta tasa de evaporación existente. $K_c = ET / E_{to}$

En nuestro caso en particular se ha decidido tomar para el diseño un cultivo de ciclo corto, que sea de mayor demanda hídrica. Para esto hemos seleccionado el tomate.

De acuerdo a la variedad de tomate y a la zona en estudio, la duración del período vegetativo es de 135 días, desde su fase inicial (I), hasta su fase final (IV), es decir desde la siembra hasta la recolección. Específicamente la fase inicial (I) duraría 30 días, la fase de desarrollo del cultivo (II) 40 días, la fase de mediados del período (III) 40 días, y las fases de finales del período (IV) 25 días. Para este diseño se han considerado las condiciones más adversas. Para esto la época de siembra o primer día de la fase inicial será el 25 de junio, y de esta manera la tercera y cuarta fase de desarrollo del cultivo, que son las fases de mayor requerimiento hídrico, coincidan con los meses más secos, de mayor radiación y de mayor evapotranspiración de los cultivos, es decir los meses de septiembre, octubre y noviembre. De esta forma la fase inicial (I) empezaría el 25 de junio y terminaría el 24 de julio; la fase de desarrollo del cultivo (II) empezaría el 25 de julio y terminaría el 2 de septiembre; la fase de mediados de período (III) empezaría el 3 de septiembre y terminaría el 12 de octubre; y, finalmente la fase de finales de período (IV) empezaría el 13 de octubre y terminaría el 6 de noviembre.

El coeficiente de cultivo K_c mensual está tabulado en la tabla I:

TABLA I
COEFICIENTE DE CULTIVO K_c MENSUAL

$K_{c_{jun}}$	0.56
$K_{c_{jul}}$	0.58
$K_{c_{ago}}$	0.8
$K_{c_{sep}}$	0.99
$K_{c_{oct}}$	0.9
$K_{c_{nov}}$	0.65

Luego de esto necesitamos la evapotranspiración total de tomate, para lo cual nos valemos de la siguiente fórmula $E_{Tc} = K_c \times E_{To}$, y los resultados los colocamos en la tabla II:

TABLA II
EVAPOTRANSPIRACIÓN TOTAL (ET_c) DEL TOMATE

MES	DÍAS	ET_c (mm/mes)
Junio	6	10.3
Julio	31	58.0
Agosto	31	89.6
Septiembre	30	113.05
Octubre	31	108.9
Noviembre	6	15.08
TOTAL	135	394.93 (mm/ciclo)

Diseño por Aspersión

Este método de riego presurizado consiste en aplicar gotas de agua -en forma de lluvia más o menos intensa y uniforme sobre el suelo, con el objeto de que infiltre en el mismo punto donde cae. El riego por aspersión hace uso de emisores, donde la descarga de agua es inducida por la presión disponible en los laterales de riego (tuberías donde van insertados los aspersores).

Para proceder con el diseño, necesitamos obtener la lámina neta del cultivo (L_n), y la lámina bruta del cultivo (L_b), para lo cual necesitamos los siguientes datos:

Profundidad de raíz del tomate(D): 0.6 m

Tipo de suelo : Franco

Capacidad de retención del suelo (S_a): 17 cm/m

Agotamiento permisible (p) : 20%

Eficiencia de riego aspersión (e_{ra}) : 70%

Entonces:

$$L_n = p \times S_a \times D = 0.2 \times 17 \times 0.6 = 2.04 \text{ cm} = 20.4 \text{ mm}$$

$$I_r = L_n / E_{tc} = 20.4 / 3.77 = 5.41 \text{ días}$$

$$I_{rc} = 5 \text{ días}$$

$$L_{nc} = L_n \times I_r / I_{rc} = 20.4 \times 5.41 / 5 = 22.07 \text{ mm}$$

$$L_{bc} = L_{nc} / e_{ra} = 22.07 / 0.7 = 31.53 \text{ mm}$$

$$\phi H = 31.5 / 0.7 = 45 \text{ m}$$

$$S1 = 31.5$$

$$Sa = 22.5$$

$$qa = 2.31 \text{ lt/s } \text{ ó } 36.61 \text{ gpm}$$

Con estos valores de caudal (qa) y radio o diámetro del aspersor (RH ó ϕH) y por catálogo escojo el modelo, marca y tipo de aspersor que necesitaré para mi diseño. He decidido escoger el aspersor Nelson F80 APV (female connection 1 1/4") que con una presión de 50 psi me da un caudal de 38.5 gpm y 79 ft porque con menor presión que los otros cumple y satisface mis requerimientos básicos.

$$na = 9 \text{ aspersores}$$

$Qt = 346.5 \text{ gpm}$.
El total de pérdidas por tubería principal sería de 2.67 m de columna de agua (3.92 psi) ; el total de pérdidas en laterales es de 2.259 m de columna de agua (3.32 psi), con lo que me da un total de pérdidas por tuberías de 4.929 metros de columna de agua ó 7.24 psi de presión.

Diseño por Goteo

Un sistema de riego por goteo está formado por una unidad central denominada cabezal y por una red de distribución de agua.

Los elementos fundamentales que componen el cabezal son: un grupo motobomba, un equipo de filtrado, y un equipo de fertirrigación.

Eficiencia de riego goteo (erg) : 85%

$$Lnr = 20.4 \times 0.7 = 14.28 \text{ mm}$$

$$Irc = 3 \text{ días}$$

$$Cr = 3 \text{ días}$$

$$Lnrc = Lnr \times Irc / Ir = 14.28 \times 3 / 3.79 = 11.30 \text{ mm}$$

$$Lbrc = Lnrc / erg = 11.30 / 0.85 = 13.29 \text{ mm}$$

Para seleccionar un gotero, partimos con los siguientes datos: distancia entre goteros (dg) = 0.5m y distancia entre laterales (dl) = 1m, que son las distancias recomendadas para este cultivo en particular.

$$Qg = Phd \times (dg \times dl) = 4.8 \times (0.5 \times 1) = 2.4 \text{ lt/h}$$

Con este caudal del gotero (2.4 lt/h) que sí existe en el mercado, y sería una cinta de riego que trabaja a 15 psi, procedemos a calcular el tiempo de riego

$$Tr = Lbrc / Phd = 13.29 / 4.8 = 2.768 \text{ h}$$

$$Ntd = 8 \text{ h/día} / Tr = 8 / 2.768 = 2.89 \approx 3 \text{ turnos}$$

$$\text{Trd} = \text{Ntd} \times \text{Tr} = 3 \times 2.768 = 8 \text{ h}$$

$$\text{Trc} = \text{Cr} \times \text{Trd} = 3 \times 8 = 24 \text{ h/ciclo}$$

$$\text{Ntc} = \text{Ntd} \times \text{Cr} = 3 \times 3 = 9 \text{ turnos/ciclo}$$

$$\text{Srt} = \text{St} / \text{Ntc} = 2.5 \text{ Há} / 9 = 0.28 \text{ Há} / \text{turno/ciclo}$$

$$\forall \text{rt} = \text{Srt} \times (\text{Lbrc} \times 10) = 0.28 \times 13.29 \times 10 = 37.21 \text{ m}^3/\text{turno}$$

Pérdidas de Carga por Fricción

Las pérdidas por fricción en este tramo utilizando una tubería de 110 mm de diámetro sería de 4.08 psi. Luego de esto tendría una tubería principal la cual va a recorrer 358 m aproximadamente hasta el final y me producen una caída de 14.6 psi utilizando una tubería de 110 mm de diámetro. Las cintas de riego que se van a utilizar, tienen un diámetro de 16 mm y trabajan a una presión de 15 psi con un recorrido o largo de cinta de hasta 80 m de longitud. Para este caso en particular la presión en la entrada va a ser de 30 psi y al llegar a la última cinta debo de tener 15 psi para que funcione correctamente. En este caso por pérdidas de presión tengo 10.8 psi en la tubería principal y 3.7 psi hasta la tubería secundaria por lo que la presión en mi última cinta será aprox. de 15.5 psi con lo que consigo que mi sistema funcione sin problemas.

RIEGO COMBINADO

Se presentan 3 opciones de riego combinado, los cuales los cito a continuación mediante la tabla III.

ETAPA	<u>DISEÑO 1</u>		<u>DISEÑO 2</u>		<u>DISEÑO 3</u>	
	got. $Q_1=Q_2$		got. $Q =$		got. $Q_1=179.85_{(1/3)}$ gpm	
	269.78 gpm		539.56 gpm		$Q_2=359.7_{(2/3)}$ gpm	
	Total	Desglose	Total	Desglose	Total	Desglose
	LUNES		LUNES		LUNES	
1°	1008.98 gpm	739.2 asp 269.8 got.	539.56 gpm	539.5 got.	919.05 gpm	739.2 asp 179.8 got
2°	916.58 gpm	646.8 asp 269.8 got.	-----	-----	359.7 gpm	359.7 got
	Martes		Martes		Martes	
1°	785.4 gpm	785.4 asp	739.2 gpm	739.2 asp.	785.4 gpm	785.4 asp.

2º	-----	-----	646.8 gpm	646.8 asp.	646.8 gpm	646.8 asp.
	Miércoles		Miércoles		Miércoles	
1º	-----	-----	785.4 gpm	785.4 asp.	739.2 gpm	739.2 asp.
2º	-----	-----	739.2 gpm	739.2 asp.	-----	-----
	Jueves		Jueves		Jueves	
1º	1008.98 gpm	739.2 asp 269.8 got.	600.6 gpm	600.6 asp.	780.45 gpm	600.6 asp. 179.8 got.
2º	870.38 gpm	600.6 asp 269.8 got.	539.56 gpm	539.56 got.	359.7 gpm	359.7 got.

Se ha escogido el primer diseño por ser el más conveniente de acuerdo a diversas razones como son: período de riego más corto (dos y medio días), lo que implica menos dinero que pagar por concepto de jornales, poca variación del caudal máximo con respecto al caudal mínimo, muy práctico a la hora de hacer los cambios de aspersores y a la apertura y cierre de válvulas (goteo), y perfecto funcionamiento combinando los dos sistemas (aspersión y goteo). Se tendrá que hacer una desviación de caudal en los momentos que haya un exceso, lejos de la toma de succión de agua por parte de la bomba a fin de evitar el removimiento de sedimentos; también habrá que regular la presión en la entrada del sistema de riego por goteo mediante válvulas o reguladores de presión.

Sistema de Filtración

La necesidad de una filtración preliminar para eliminar las partículas del agua es reconocida por todos los proyectistas, pero se ha definido de una manera precisa el tamaño máximo que se puede dejar en función del diámetro de paso de los distribuidores. El grado de filtración requerido depende de la calidad del agua y del tipo de distribuidor escogido.

En este caso en particular se escogió un filtro de grava de 48" de 61 m³/h y tres filtros de malla (150 mesh) de 20 m³/h solo para el sistema por aspersión y un filtro hidrociclón de 250 m³/h para el sistema combinado.

Sistema de Bombeo

Para la selección de la bomba se tendrán que considerar diversos factores, como son presión de descarga (incluye pérdidas por fricción de tuberías, pérdidas menores, altura del elevador del aspersor, etc.), altura de succión. Para este caso en particular $\rho = 998.2 \text{ Kg/m}^3$; $Q_{\text{máx}} = 1008.98 \text{ gpm}$ ó 3818.98 lt/min , $H = 48.85 \text{ m}$ (incluye presión necesaria para aspersores, pérdidas por fricción, altura del elevador y altura de succión); $\eta = 66 \%$. Con lo que $P_{\text{otnecesaria}} = 61.84 \text{ Hp}$

Sistema de Regulación

El sistema llevará una presión de 43 metros de columna de agua (60 psi) aproximadamente necesarios para que funcionen correctamente los aspersores, pero como las cintas de riego trabajan a una presión de 20 psi (incluidos las pérdidas por fricción y menores) aproximadamente, necesitaremos una válvula reguladora de presión. Para esto existen en el mercado varios tipos de válvulas reguladoras de presión como las de compuerta, bola ó globo, mariposa, etc.

Para este caso se usará una válvula de compuerta por ser muy efectiva, además de ser la más económica de las anteriormente citadas. Este fenómeno de reducción de presión mediante el cierre parcial de la válvula se produce por:

La Ley de la continuidad $m_1 = m_2$, ó $Q_1 = Q_2$, ó $A_1V_1 = A_2V_2$;

por lo que en el momento en que se produce el cierre de la válvula disminuye el área (A_2) y aumenta la velocidad (V_2) con lo que se mantiene el equilibrio en la ecuación.

Luego por el Teorema de Bernoulli calculamos la presión. En la práctica se deberá colocar un manómetro a la salida de la válvula de compuerta y se procederá a la apertura o cierre de la misma hasta que marque en el indicador 20 psi.

Análisis de costos

ASPERSIÓN		
	(5 Hás)	6465.74
GOTEO		
	(3 Hás)	6166.29
FILTROS, G. BOMBEO INSTALACIÓN		
	(8 Hás)	13550
TOTAL	US\$	26182.0

Estos precios incluyen el 12% IVA

CONCLUSIONES

- Para cualquier tipo de diseño de riego que se vaya a realizar, es muy importante tener en cuenta un equilibrio de diversos factores, entre los más importantes están, programación eficiente del riego, lograr un equilibrio en el uso de los sistemas a implantar.
- Para poder realizar el diseño de riego combinado (aspersión y goteo), se requiere empezar a diseñar primeramente el sistema de riego por aspersión, debido al mayor consumo de agua y a la mayor cantidad de presión necesaria para que funcionen los aspersores; luego de esto, acoplar mi diseño de riego por goteo a los requerimientos del cultivo.
- En mi caso en particular he decidido seleccionar goteros no autocompensados o cintas de riego los cuales poseen una corta vida útil (1 año), lo cual se me disminuye los costos.
- En un diseño de riego por aspersión, la mayor cantidad de dinero involucra la compra de los diferentes elementos del sistema como son las tuberías. Para bajar costos se tendrán que variar los diámetros de las mismas, pero siempre tomando en cuenta como regla de diseño que las pérdidas de carga por fricción en la tubería principal no debe ser mayor al 10%, y las pérdidas de carga por fricción en las tuberías secundarias no debe ser mayor al 10%.
- Este diseño en particular (combinado) es una alternativa con respecto a eficiencia y costos, ya que sabemos que los diseños de riego por goteo son más eficientes, pero más costosos; y los diseños de riego por aspersión son más económicos pero menos eficientes.

- Para efectos de reducción de costos se recomienda manejar el paquete a nivel de distribuidores lo que significaría un ahorro entre 20% a 30%
- Para efectos prácticos, se tendrán que hacer los tiempos de riego iguales para los dos sistemas (goteo y aspersión), de esta manera le facilitamos el trabajo al operador para la apertura y cierre de válvulas.
- Cuando se quiera trabajar por separado el sistema de riego por goteo, se deberá bajar las RPM del motor, a fin de bajar costos por concepto de combustible, reducir la presión de salida por aplicación de la Ley de Afinidad.

REFERENCIAS

- Francisco Dominguez García-Tejero TOPOGRAFÍA ABREVIADA. (12^ava. edición. Ediciones Mundi- Prensa)
- José M. Albareda Herrera y Angel Hoyos De Castro EDAFOLOGÍA (Talleres Gráficos Montaña – Madrid)
- Florencio Rodriguez Suppo RIEGO POR GOTEO (Ediciones AGT)
- R. Gordon Halfacre y John A. Barden HORTICULTURA (Ediciones AGT)
- Alvaro Torres y Eduardo Villate TOPOGRAFÍA
- Ing. Sholmo Armoni EL RIEGO POR GOTEO – Conceptos, Sistemas, Características.
- Ing. Marcelo Espinosa L. M.Sc., M.A.E. NOTAS DE RIEGOS Y DRENAJES – Escuela Agrícola Panamericana Zamorano SISTEMAS DE RIEGO Y DRENAJE – Círculo Alfa – Omega