

USO DE LA COMPUTACIÓN EN EL DISEÑO Y CONTROL DE RIEGO POR SUPERFICIE

Lic. María Celina Drovandi

Prof. Adjunta Cátedra Sistemas Operativos y Compiladores

Uno de los grandes problemas que aqueja a nuestra provincia es la escasez de aguas en ciertas épocas del año. De ahí surge la necesidad de escoger un adecuado método de riego para aprovechar al máximo este recurso, muchas veces insuficiente en nuestra provincia.

El Ingeniero Agrónomo que se dedica a las tareas de campo, en más de una oportunidad le tocará tener que decidir sobre cuestiones de riego o sobre métodos a adoptar en lugares en donde todavía no hay una fuente de agua establecida. En tal sentido podrá aconsejar a un agricultor sobre qué métodos adoptar en un campo en donde todavía no ha llegado el agua. También se puede presentar la necesidad de tener que elaborar un proyecto de alternativas de riego y tener que seleccionar la más apta desde un punto de vista económico y que la decisión al respecto suponga la selección del método de riego más adecuado.

Estos métodos se proyectan usando una serie de coeficientes de ajuste. En la medida que el programa de diseño utilice algunos coeficientes sacados en el terreno, se puede obtener un diseño del método de riego adecuado a la realidad, y cuando se ponga en funcionamiento el sistema, habrá coordinación entre lo proyectado y las verdaderas necesidades de agua de la propiedad.

Es posible realizar una investigación de las distintas formas de riego por superficie y plantear a través del uso de la informática una metodología con resolución y aplicación acerca de las distintas alternativas que existen a fin de efectuar un aporte a la actividad agrícola de Mendoza.

En la actualidad, y con la utilización de las computadoras es posible tener un control casi exacto de lo que puede ocurrir en una

plantación y de esta forma poder disminuir o eliminar los riegos a los que están sometidos los cultivos.

Podemos dividir al proyecto de riego en dos etapas principales: La primera es la que se refiere al diseño y elección del método de riego a aplicar y la segunda es la de controlar la disminución o el aumento de la temperatura en los cultivos.

1. Diseño de método de riego

En la etapa de diseño lo primero que se debe realizar al momento de determinar qué método de riego se utilizará en una finca es el diseño; éste consiste en planificar cómo se hará el sistema de riego, para ello deberá estudiar si el terreno a regar tendrá pendiente. Además tendrá que determinar, de acuerdo al tipo de cultivo a utilizar, si el riego se realizará por melgas o por surcos.

Una vez realizado el diseño e implementado el método, pasamos a la segunda etapa que es la evaluación. La misma consiste en realizar una prueba de rendimiento, es decir, evaluar que tan eficiente es mi sistema de riego; y si el sistema de riego no es eficiente, habrá que rediseñarlo.

La correcta elección del método de riego superficial es fundamental para proyectar una finca bajo riego.

Hay que tener en cuenta que en el manejo del agua intervienen factores como ser: la textura del suelo, cultivo, cosecha, pendiente e infiltración. Hay que llegar a realizar un estudio profundo del método a implementar ya que una mala elección produciría importantes daños al cultivo.

Un factor importante a tener en cuenta es si la finca será proyectada para una zona árida o se proyectará para una zona de riego complementario, en donde la lluvia caída puede sumarse al riego.

Entrando en detalles, podemos dividir al proyecto de una finca en dos partes:

1.1 . Fincas para zonas áridas.

1.2 . Fincas para zonas con riego complementario.

1.1. Fincas para zonas áridas

Cuando realizamos el proyecto de una finca bajo riego para zona árida, la misma se puede dividir en áreas cultivadas con cultivos perennes o anuales. En el caso de áreas con cultivos perennes será conveniente hacer una infraestructura de derivación y conducción permanentes.

En estas condiciones se podrá nivelar sin pendiente y realizar longitudes de riego que estén de acuerdo con la máquina a emplear, ya sea para la cosecha o para la labranza.

Cuando hablamos de cultivos anuales, el proyecto es distinto al anterior. Primeramente, no se requiere una infraestructura de derivación permanente para toda la red de riego; además será conveniente la construcción de los canales primarios, mientras que los secundarios se harán cuando se los necesite.

Debemos destacar que la longitud de riego es variable, ya que la misma está directamente vinculada a la profundidad radicular, al cultivo y a los elementos de labranza y cosecha. Así, por ejemplo, la cebolla requiere surcos cortos, escaso esparcimiento y una pendiente pobre donde se derivan caudales pequeños. Por otro lado el algodón requiere una gran longitud (599m) y una gran pendiente.

1.2. Fincas para zonas con riego complementario

Si hablamos de fincas con riego complementario hay que mencionar que en donde se plantan cultivos no permanentes, la infraestructura de riego no dificulta las labranzas ni las cosechas. Habrá que tener presente la construcción de una adecuada red de desagüe para evacuar el exceso por lluvias intensas o por sobre riego. Se hace necesario evaluar las precipitaciones, frecuencia, intensidad y retorno para dimensionar la red de desagüe. Cabe mencionar que es conveniente sistematizar los terrenos con una gran longitud y una pendiente muy uniforme. Para que el riego posterior sea realmente de complemento la siembra se hace luego de una lluvia pesada.

Para zonas áridas, como es la provincia de Mendoza, es aconsejable utilizar riego por inundación como es el caso del control de agua por melgas o por medio de infiltraciones del terreno a través de surcos.

1.2.1. Control del Agua en melgas

Llamaremos riego por melgas cuando el agua escurre la superficie en láminas finas, humedeciendo el terreno. Es conveniente utilizar este método cuando tenemos cultivos de una gran densidad de siembra, o sea en los cereales y forrajeras. Un factor importante a tener en cuenta es el caudal; éste varía según se riegue con o sin pendiente, lo que puede variar desde 0,5 1/s/m hasta 10 1/s por metro ancho. Cuando la pendiente se incrementa y cuando la textura del suelo es suelta, los caudales se achican, de manera contraria se realiza para tierras sin pendiente y textura fina.

El caudal de una melga con pendiente se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Qu = 5.57^{-0,75} * S$$

(Donde $Qu = 1/s.m$)

siendo: Qu : el caudal unitario de la melga

S : la superficie

1/s litros sobre segundos, es decir el volumen que ingresa en un determinado momento.

Se puede observar que hay un sinnúmero de factores a tener en cuenta como son las pendientes, la lámina a aplicar y las dimensiones de las melgas, tales como ancho, largo y caudal. Además, un punto muy importante para el profesional es determinar la longitud de la melga, y para ello tendrá que tener en cuenta el caudal de manejo, la pendiente, la textura del suelo, el cultivo a implantar y la maquinaria que se utilice para el trabajo de la tierra.

La selección de una longitud adecuada, está directamente vinculada a un correcto diseño del método.

1.2.2. Control del Agua por surcos

En este tipo de riego, el suelo se humedece mediante la infiltración del agua a través del perímetro mojado de pequeños cauces llamados surcos. Hay que mencionar que la textura del suelo está muy

relacionada a la profundidad de penetración del agua, la dimensión del terreno humedecido y la forma del mismo. El agua cubre el terreno entre surco y surco parcialmente avanzando en forma lateral y en profundidad. Este método de riego es aconsejable cuando tenemos cultivos en línea, un ejemplo típico es el caso de las viñas en Mendoza.

Para realizar el diseño del riego por surcos es necesario determinar el esparcimiento, formas y dimensiones, pendiente y dirección, caudal, longitud y tipo de surco.

1.2.2.1. Esparcimiento de los surcos

La distancia entre surco y surco depende de la naturaleza física del suelo y de la profundidad del suelo que interesa mojar.

Carlos Grassi (1), estudiando las relaciones entre la profundidad y sección humedecida, con relación a la carga de agua en el surco y el tiempo de riego, determinó la siguiente ecuación para calcular el esparcimiento de los surcos, en suelos franco-limosos de Chacras de Coria.

$$E = 1.73 D$$

donde:

E es el esparcimiento

D la profundidad radicular

1.2.2.2. Formas y dimensiones de los surcos

El tamaño de un surco depende comúnmente del cultivo; pero generalmente los surcos oscilan entre 10 y 40 cm de ancho superficial y entre 5 y 20 cm de profundidad. Mientras mayor sea el cultivo, mayor será el tamaño del surco.

La forma de los surcos depende del implementado para su construcción; pueden ser de forma parabólica, triangular o rectangular. En nuestra provincia es común el surco de forma parabólica realizado con el arado surqueado.

1.2.2.3. Pendiente y dirección de los surcos

Los surcos se pueden construir sin pendiente, nivelados a cero o con pendiente. En el 1er caso no se produce escurrimiento del agua al pie, mientras que en el 2do sí.

La pendiente aceptable a los fines del riego superficial, depende de la fuerza erosiva del agua que responde a la siguiente ecuación:

$$F = \delta * h * s$$

donde:

F: es la fuerza erosiva del agua (Kg/m)

δ : es el peso específico del agua (Kg/m)

h: es el tirante del agua en el surco (m)

s: es la pendiente adimensional (m/100m)

La pendiente aceptable para riego superficial es aquella que no supera los 0,60cm cada 100m.

1.2.2.4. Caudal de un surco

El caudal que puede conducir un surco, depende de la sección de escurrimiento y de sus condiciones hidráulicas. La fórmula de Manning es correctamente aplicable al surco pero, sin embargo, el caudal que resulta al aplicar está limitado por:

1 - En los suelos sin pendiente, por la sección de escurrimiento que ofrece el surco.

2 - En los suelos con pendientes, por la fuerza erosiva del agua.

Existe una ecuación para calcular el caudal no erosivo, Q_e , en l/s en función de la pendiente S_o %:

$$Q_e = 0.63 / s\%$$

En base a esta fórmula podemos calcular el caudal a incorporar: por ejemplo, si la pendiente es $S = 0,5\%$ será

$$Q_e = 0.63 / 0.5\% = 1.26 \text{ l/s}$$

de esta forma podemos calcular el número de surcos o tapadas que podrán regarse con un determinado caudal.

Por "tapada" ($n = 10$ surcos en Mendoza) se requerirá un caudal de:

$$Q_e = q_e * n = 1.26 \text{ l/s} * 10 = 12.60 \text{ l/s}$$

En base a dicha expresión, puede calcularse el número de surcos o tapadas que podrán regarse con un determinado caudal.

1.2.2.5. Longitud de los surcos

Para reducir la pérdida de agua, existen 2 posibilidades:

- a) Reducir la longitud de los surcos
- b) Aumentar el caudal aplicado

En la mayoría de las veces, los agricultores se resisten a reducir la longitud de los surcos ya que ello obliga a fraccionar la propiedad y a aumentar la longitud de las acequias, además de mayores dificultades en las labores mecanizadas.

1.2.3. Hidráulica del riego por superficie

Cuando el frente de agua ha avanzado una determinada distancia durante un cierto tiempo, la reducción del espesor de la lámina desde la entrada del frente de agua representa el volumen de agua almacenado en el cauce a dicha distancia. Debido a las diferencias en el tiempo de contacto en distintas secciones a lo largo del cauce se habrían infiltrado diferentes volúmenes de agua.

Al llegar al frente, a la distancia más alejada, no ha penetrado agua en el suelo; un determinado volumen circula hacia el extremo inferior pero, en la cabecera, el tiempo de contacto puede no haber sido suficiente para mojar la zona radicular. Si la parcela tiene pendiente en la dirección del riego, el suministro de agua debe continuar a una velocidad determinada por la capacidad de infiltración hasta que el tiempo requerido para establecer el déficit de humedad en el suelo, en el extremo inferior haya transcurrido. En tal caso, se producen inevitables pérdidas por percolación profunda en el extremo superior.

El riego por superficie realizado en terrenos con pendiente debe ser dividido en tres períodos: Período de avance del agua o período de mojado, período durante el cual la totalidad de la longitud está cubierta con agua y sujeta a infiltración y un período de receso durante el cual una decreciente longitud de la parcela está llena. Analizaremos a continuación, cada una de estas etapas.

1.2.3.1. Período de avance del agua o **Período de Mojado**

El avance del frente de agua en surcos o melgas es una función exponencial de la variable tiempo, donde:

$$x = p * t^r$$

siendo: x = distancia de avance a tiempo t

p = coeficiente empírico de la función de avance

t = tiempo de avance

r = exponente empírico de avance

El avance del frente de agua depende de varios factores como son caudal, infiltración, tamaño y forma del cauce, pendiente y aspereza de la superficie.

Al analizar el significado de p y de r en la ecuación se encontró que "p" es una constante empírica que depende de la pendiente So, el caudal Q, las características hidráulicas del flujo y de la aspereza de la superficie, y que "r" está relacionada con las características físicas del suelo expresadas en la función de infiltración; de esta manera resulta que la ecuación puede ser escrita como:

$$x = u * f * (Q) t^r$$

donde: u: es la aspereza de la superficie

f: es el flujo del agua

Q: es el caudal

t: es el tiempo del avance del agua

r: es el exponente empírico de avance

1.2.3.2. Período de Infiltración

Concluido el primer período de mojado, comienza el período de reposición de agua al suelo o tiempo de infiltración (ti).

La duración de este período se calcula en base a la lámina neta a aplicar (Dn) en el extremo más alejado de la parcela, por lo que, haciendo la Dn igual a la infiltración acumulada puntual $I_{cm} = A$ ti se puede deducir el ti de la misma ecuación, luego:

$$T_i = \frac{(Dn) \cdot I/B}{A}$$

D_n : es la cantidad de agua neta a aplicar en una superficie determinada

A y B: son coeficientes que dependen de la categoría del suelo

La ecuación anterior es usada para melgas. Para surcos se incorpora a la misma relación el ancho del surco sobre el perímetro mojado W/P para hacer más real la infiltración de la lámina, ya que en surcos la sección de entrada del agua es menor que en melgas, para igual lámina.

Luego para surcos queda:

$$T_i = \frac{(Dn * W)}{A * P} * I/B$$

siendo W el esparcimiento entre surco y surco

P el perímetro mojado

A y B coeficientes que dependen de la categoría del suelo

El tiempo de contacto o de oportunidad "top" es igual a la distancia que hay entre el avance y el receso de la lámina e indica el tiempo disponible para infiltrar agua al suelo.

Luego el top se puede calcular así:

$$Top = te + ti - tr$$

donde: tr : es el tiempo de receso de la lámina

te : es el tiempo de escurrimiento del agua

ti : es el tiempo de infiltración

En base a las ecuaciones de infiltración se obtienen los valores de I_{cm} para cada punto x . Esto determina el **Patrón de Infiltración** o distribución del agua a todo lo largo del surco de riego (1^{er} y 2^{do}

período). Dicho patrón pone en evidencia pérdidas inevitables por percolación en la sección superior de la parcela y gráfica la lámina realmente infiltrada a lo largo de la unidad de riego, permitiendo su comparación con la lámina de reposición teórica.

Icm representa la infiltración puntual, es decir, es el agua que se ha infiltrado en un punto determinado del suelo en un tiempo t .

1.2.3.3. Período de Receso

Es el tiempo que demora el agua de riego en desaparecer de la superficie del suelo contado desde el momento en que se corta la entrada de agua por la boca.

Concluido el tiempo de la aplicación del agua, se suspende el abastecimiento de la cabecera de la parcela. Aún cuando el caudal se haya reducido, al concluir el tiempo de mojado existe un volumen de agua sobre la superficie de la parcela. Si el terreno no tiene pendiente, dicha lámina se habrá considerado como parte del agua a aplicar y se infiltrará uniformemente a lo largo de la parcela.

Si el terreno por el contrario, tiene pendiente, continuará escurriendo el agua al pie de la parcela como un desagüe superficial hacia el extremo inferior. El registro de retiro del agua en función del tiempo y frente a cada una de las estaciones, constituye lo que se denomina el receso del agua en la parcela.

La curva de receso es opuesta a la curva de avance y por lo tanto tiende a favorecer el tiempo oportunidad o de contacto de la lámina "top" al pie de la parcela. La diferencia de tiempo de cada punto x entre la curva de receso y la de avance representa el tiempo de oportunidad "top".

Es evidente que al concluir los tres períodos, el patrón que representa la lámina infiltrada será más uniforme que cuando no se considera el efecto de receso.

Si t_r es el lapso que comprende el receso, entonces el tiempo de aplicación o de corte de agua, para el riego con pendiente será:

$$t_{co} = t_i + t_e - t_r$$

donde: t_i : es el tiempo de infiltración

te: es el tiempo de escurrimiento
tr: es el tiempo de receso del agua

A diferencia del avance del frente de agua, el receso se produce a mayor velocidad, lo que es obvio si se tienen en cuenta las diferencias de humedad del suelo al comenzar y finalizar el riego.

Las ecuaciones que relacionan el receso con el avance son muy complejas, sin embargo, con fines prácticos, no se comete error si se asume una relación lineal, en especial teniendo en cuenta que es mucho más difícil de registrar en el campo, particularmente en terrenos cubiertos con vegetación. Si se acepta una relación lineal entre distancia y receso sólo se requieren dos puntos para el trazado de la curva: el tiempo de corte del agua en la cabecera y el tiempo en que concluye la salida o cola del agua al pie.

Hay que destacar que el receso sólo se considera en casos de pendiente suave, ya que con pendientes importantes ocurre en períodos tan breves que deja de tener importancia práctica. El receso no se produce cuando la aplicación del agua se hace en terrenos sin pendiente (a nivel cero).

Como observamos, hay un gran número de ecuaciones que resolver para poder llegar a escoger y administrar el riego de una finca. El sistema propuesto permite obtener, a través del solo ingreso de algunos datos, la respuesta al cuestionamiento del Ing. Agrónomo sobre qué método de riego aplicar según el tipo de suelo.

El sistema posee una gran base de datos con la información referida a tipos de zonas a regar, pendiente de las mismas, textura del suelo, tipos de cultivos y las longitudes adecuadas según la clase de suelo, permitiéndole al usuario, obtener el tipo de método de riego más conveniente para el suelo a hidratar.

A través de este sistema, el profesional no tendrá la necesidad de realizar cálculos engorrosos para determinar esparcimiento, dimensiones, pendientes, dirección, caudal y longitud de los surcos, ya que el sistema propuesto lo realiza automáticamente con el solo ingreso de datos básicos referidos a tipo de suelo y clase de cultivo; y de esta forma, se automatiza el trabajo, muchas veces engorroso, de resolver ecuaciones y algoritmos necesarios para la elección del método de riego a implementar.

2 - Control del riego

Una vez establecido e implementado el método de riego pasamos a la etapa de control de temperatura en los cultivos, ya que es necesario alertar al agricultor tanto cuando se produce una disminución de la temperatura, de manera que ésta pueda perjudicar a los cultivos, como también cuando aumenta la misma, ya que esto favorece al crecimiento de hongos. Tener un correcto balance hídrico y un control de las necesidades de agua de los cultivos puede aumentar la producción y disminuir los costos.

En la actualidad, es posible realizar un control minucioso de las temperaturas de los cultivos en distintas áreas de las plantaciones a través de sensores conectados a estaciones remotas que envíen la información vía modem a una computadora principal que maneje las bombas de agua y de esta manera poder automatizar el riego. A su vez, cuando el servidor principal reciba los datos de los sensores y estos, estén por debajo del nivel mínimo de hidratación, se activará la alarma y pondrá en funcionamiento los mecanismos adecuados para solucionar el problema.

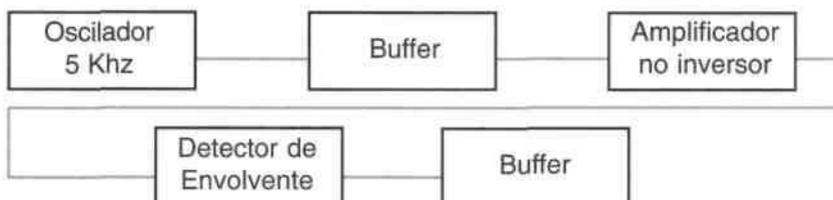
El sistema de adquisición de datos tiene como función transformar las variables físicas en variables eléctricas, y una vez que se dispone la señal eléctrica se la digitaliza. Las variables físicas pueden ser temperaturas, presiones, desplazamientos, niveles, caudales, etc. La tensión eléctrica que proveen los sensores son menores de 10v y en general son del orden de unos pocos minivolts. Una vez obtenidas estas señales ingresan al sistema de captación de datos. Cada señal debe tener un circuito de acondicionamiento como pueden ser amplificadores o filtros. Las señales a los multiplexores deben llegar de magnitudes similares. Se usan multiplexores debido a que en caso que tengamos varios sensores es más económico utilizar un solo conversor A/D y un multiplexor que usar varios conversores. En los multiplexores es fundamental el número de canales y la velocidad. Cuando tengamos el caso de tener un conversor rápido, será conveniente colocar un Sample and Holder.

La computadora principal, como se hizo referencia anteriormente, será la encargada de manejar toda la información proveniente de los sensores ubicados en las distintas áreas de las plantaciones. Al sistema computacional se le debe ingresar la cantidad de lectura por

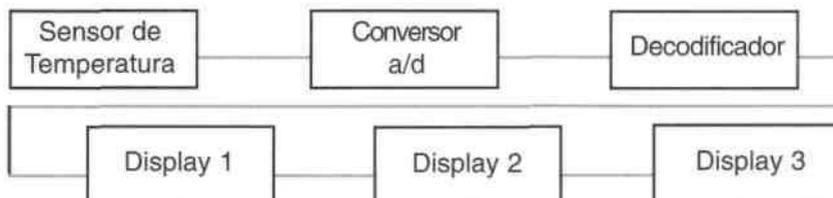
hora que debe hacer cada sensor, es decir que si se quiere que el sensor que mide la temperatura lo haga 3 veces por hora, habrá que indicarlo al sistema. Luego habrá que realizar el seteo de las alarmas de los sensores, es decir establecer los valores máximos y mínimos por sobre o por debajo de los cuales se activarán las alarmas. En función de lo expuesto, si nosotros queremos que suena una alarma si la temperatura baja de 2 grados se debe poner como condición de no activación de la alarma las temperaturas $>$ a 2 grados, por debajo de ese valor, la alarma del sensor que mide la temperatura se activará.

Informatizar el riego de los cultivos no implica solamente el control de la temperatura y humedad críticas sino también llevar un registro de los datos día a día lo que permite obtener los valores máximos y mínimos de las humedades relativas para poder realizar cálculos probabilísticos antes de cada temporada. También es posible colocar otros sensores para controlar las direcciones y velocidad del viento, salinidad de la tierra o pluviómetros.

Esquema sensor humedad



Esquema sensor de temperatura



Bibliografía

1. **American Society of Agricultural Engineers** - Design and Operation of farm irrigation system. Edited by Marvin Jensen. Michigan. USA.
2. **Chambouleyron, J., Morabito, J.** - Evaluación de la Eficiencia de uso interna del agua de riego en la finca. IX Congreso nacional del Agua. San Luis.
3. **Grassi, Carlos -1987** - Diseño y Operación del Riego por Superficie - CIDIAT, Mérida - Venezuela.